

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 2-D І 3-D КОМПОНУВАНЬ ТЕХНОЛОГІЧНИХ СИСТЕМ БЕЗПЕРЕРВНОЇ ДІЇ

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

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). Дані системи відносяться до технологічних систем високої і надвисокої ефективності з 2-D і 3-D 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 2-D and 3-D packaging.

1. Вступ.

Науково технічний прогрес безперервно ставить перед машинобудівниками все нові, більш складні 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 обумовлено запитами суспільства та можливостями науки, техніки та економіки.

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

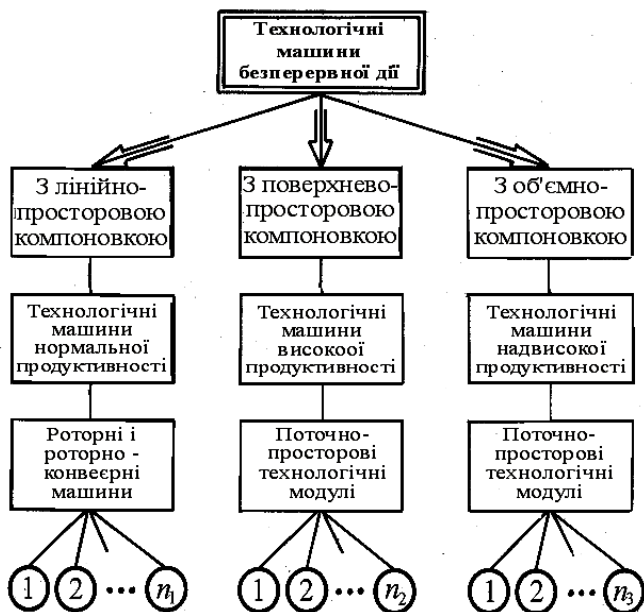


Рис. 1. Деякі характеристики технологічних систем безперервної дії

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

- технологічні машини нормальної ефективності [5, 6, 7];
- технологічні машини високої ефективності [8];
- технологічні машини надвисокої ефективності [9, 10].

Ці технологічні системи мають якісно нові властивості і можливості. Вони широко можуть використовуватися для комплексної та повної 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, 9,

10]. Так як технологічні системи нормальної продуктивності в даний час достатньо глибоко досліджені і широко розроблені [5, 6, 7]. Хоча в цілому, представлені далі розробки можуть бути поширені і на технологічні системи нормальної продуктивності, тобто на роторні та роторно-конвеєрні машини [5, 6, 7].

Відзначимо те, що в даній роботі технологічні системи безперервної дії високої і надвисокої продуктивності іменуються поточно-просторові технологічні системи (ППТС).

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

2. Актуальність і постановка проблеми досліджень

На рис. 2 показана гіпотетична модель (оболонки) особливостей перетворення предмета об-

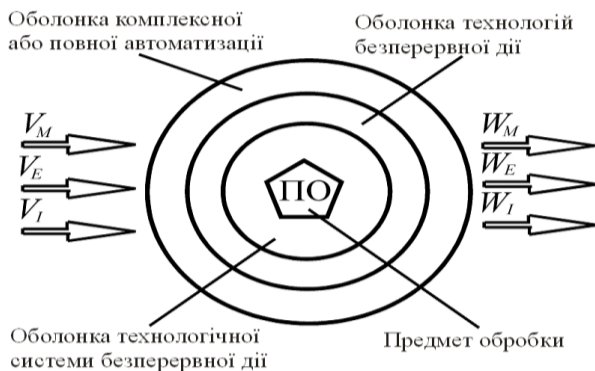


Рис. 2. Гіпотетична модель особливостей комплексної автоматизації виробничих процесів безперервної дії

робки (ПО) при комплексній автоматизації виробничих процесів на базі технологій і технологічних систем безперервної дії. При комплексній або повній 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 в процесі проектування виробничих процесів всі проектні рівні повинні реалізовуватися в оболонці комплексної автоматизації.

Проведені раніше дослідження в галузі технологій і технологічних систем безперерв-

ної дії дозволили зробити наступні висновки:

1. Для забезпечення комплексної автоматизації та інтенсифікації виробничих процесів перспективними є технологічні системи безперервної дії, в яких технологічна обробка здійснюється в процесі безперервного транспортного руху предметів обробки спільно зі знаряддями і засобами обробки.

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. При створенні 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 обробки спільно з предметами обробки.

У даній роботі зроблена спроба розробки загальних принципів створення якісно нових технологічних систем безперервної дії, створення загального теоретичного підходу в проектуванні ППТС, синтезу конкретних варіантів ППТС та вирішення питань автоматизації виробничих процесів на базі цих технологічних систем.

У зв'язку з цим, метою цієї роботи є розробка високоефективних технологічних систем безперервної дії з якісно новими властивостями і можливостями, що дозволяють вирішувати питання комплексної та повної автоматизації виробничих процесів. У роботі планується вирішити 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.

3. 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, 6, 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, 9, 10] дозволив встановити такі основні принципи їх проектування і функціонування:

- підвищення потужності концентрації безлічі технологічних елементів (блоків технологічно-го впливу) ;
- складання з концентрованої безлічі технологічних елементів спеціальних р- мірних груп з підсистемами к-го класу;
- забезпечення упорядкування багатовимірної замкнутої рекурентної структури технологічних елементів за рахунок упорядкування підсистем (к- 1) -го класу в кожній підсистемі к- го класу;
- просторової композиції технологічних елементів і переходу від їх лінійно-просторового компонування (1-D компоновка) до поверхнево-просторового компонування (2-D компоновка) і потім до об'ємно - просторового компонування (3-D компоновка) ;
- просторове 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) загального числа елементарних транспортних рухів кількості класів підсистем складної багатовимірної замкнутої рекурентної структури технологічних елементів;
- забезпечення паралелізму функціонування підсистем (к-1) -го класу в підсистемах к-го класу складної багатовимірної замкнутої структури технологічних елементів;
- забезпечення послідовного фазового зсуву процесу виконання заданих основних і допоміжних функцій в підсистемах (к- 1) -го класу підсистем к-го класу складної багатовимірної замкнутої структури технологічних елементів;

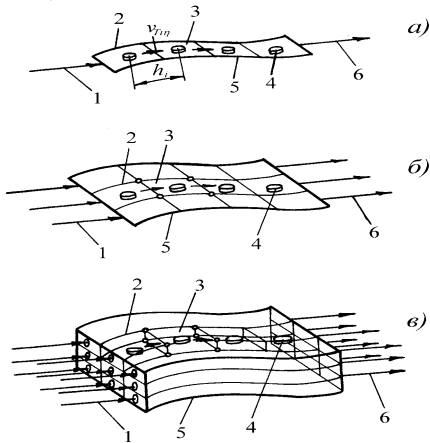


Рис. 3. Моделі технологічних зон: а - лінійна (1-D), б - поверхнева (2-D), в - об'ємна (3-D)

- забезпечення безперервності функціонування всіх підсистем складної багатовимірної замкнутої структури технологічних елементів системи; - модульність проектування підсистем і всієї технологічної системи ;

- реалізація принципів мехатроніки і адаптроніки при створенні нових технологій і технологічних систем.

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

Не маючи можливості детально розглянути всі наведені вище принципи, наведемо тільки деякі з цих принципів проектування та функціонування ППТС.

Проаналізуємо принцип переходу від їх лінійно-просторового 1-D компонування до поверхнево-просторового 2-D компонування і потім до 3-D компонування. У кожному конкретному випадку вибирається та чи інша просторова компоновка технологічних елементів. На рис. 3 показані моделі просторових технологічних зон: на рис. 3, а - лінійно-просторова технологічна зона (1-D) ; на рис. 3, б - поверхнево-просторова технологічна зо-

на (2-D) ; на рис. 3, в - об'ємно - просторова технологічна зона (3-D - компоновка). Тут позначено: 1 - вхідні потоки виробів, 2 - потік одиничних технологічних зон, 3 - одинична технологічна зона, 4 - виріб (предмет обробки), 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 (1-D компоновка)

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

- поверхнево-просторова технологічна зона (2-D компоновка)

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

- об'ємно-просторова технологічна зона (3-D компоновка)

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

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 обробки 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 зони.

У виразах (1)... (3), густина виробів у відповідних просторових технологічних зонах визначається на підставі наступних 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) дозволив встановити залежність відносної продуктивності $\Pi_{омн} = \Pi_{Ц} / \Pi_{Ц}^B$ 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 наступними 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. Таким чином, технологічним системам з поверхнево-просторовими і об'ємно-просторовими технологічними зонами властиві якісно нові, більш високі техніко-економічні показники в порівнянні з технологічними системами з лінійно-просторовими технологічними зонами, що є виконаними на базі роторних і роторно-

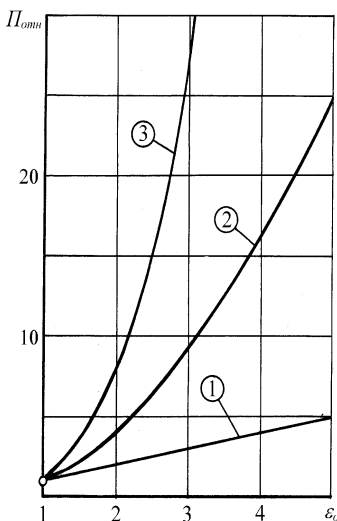


Рис. 4. Залежність продуктивності системи від габаритних розмірів технологічної зони: 1 – лінійна, 2 – поверхнева, 3 – об'ємна

конвеєрних 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 відзначити, що при проектуванні структури технологічної системи необхідно прагнути до підвищення щільності технологічних елементів (блоків технологічного впливу) просторової технологічної зони та інтенсивності їх функціонування. Крім того, при створенні технологічної системи, що складається з n технологічних модулів, необхідно просторово їх компактувати у виробничі осередки (рис. 5) і потім осередки просторово компонувати в усьому обсязі виробничого цеху (рис. 6), з можливістю зміни їх просторового розташування. Причому тут також слід вести їх розміщення з розрахунку підвищення щільності технологічних модулів у виробничих осередках і осередків у виробничому цеху. Це дозволяє підвищити коефіцієнт використання простору і середовища.

На рис. 5 показан формалізований об'ємно-просторовий виробничий осередок. Тут позначено: 1 - технологічна система, 2 - поточно-просторовий технологічний модуль, 3 - зв'язок між тех-

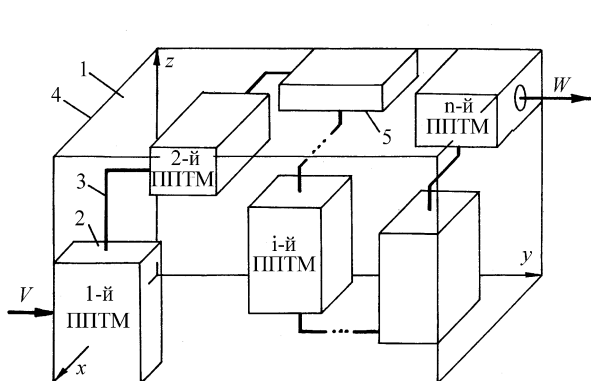


Рис. 5. Формалізована об'ємно-просторова технологічна система (виробничий осередок)

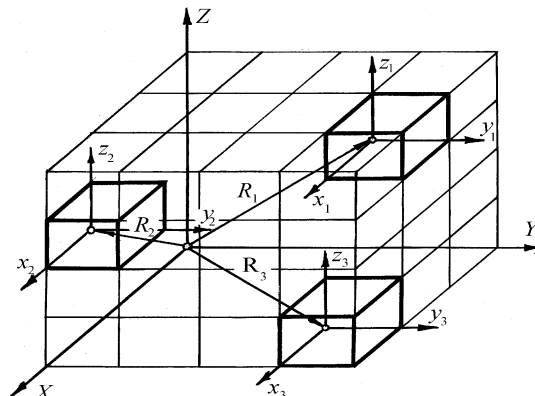


Рис. 6. Формалізована схема просторового компактування об'ємів осередку

нологічними модулями, 4 - границя виробничого модуля, 5 - границя поточно-просторового технологічного модуля. На рис. 6 представлена формалізована схема просторового компактування виробничого об'єму, розташованого в системі координат X, Y, Z виробничими осередками, координатних системами координат x_i, y_i, z_i і радіусами векторами R_i , де i - будь-який виробничий осередок. Модульність побудови технологічних систем дозволяє реалізувати основні принципи автоматизованих виробництв. Це, перш за все гнучкість, безперервність і високі техніко-економічні показники виготовлення виробів.

Загальна методологія створення технологій нового покоління і поточно-просторових технологічних систем безперервної дії базується на наступних 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;

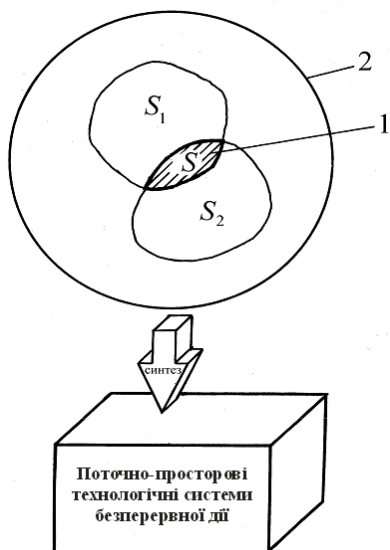


Рис. 7. Діаграма комплексного синтеза ППТС

- на системі проектування якісно нових технологій і технологічних систем (позиція 2), яка забезпечує можливість роботи з особливо складними багаторівневими ієрархічними об'єктами.

Вибір і реалізація нових прогресивних технологій безперервної дії в зоні поля S базується на використанні методів схемного, функціонального, структурного та параметричного аналізу та синтезу, які можуть виконуватися в рамках процесійно-подієвого аналізу та синтезу нових нетрадиційних варіантів. При цьому весь 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 та інших питань.

На рис. 8 показані види компоновки і деякі варіанти геометричних форм компоновки просторових технологічних зон поточно-просторових технологічних систем безперервної дії. Кожен вид з трьох пропонується має відкриту безліч варіантів геометричних форм компоновки, що дає можливість генерувати

безліч варіантів поточно-просторових технологічних систем і виявляти найбільш прийнятні для реалізації заданого технологічного процесу.

У роботі розглянуто особливості компоновки 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 представлена принципово-структурна модель ППТС. Тут зображено: 1 - транспортний ротор, 2 - поточно-гвинтовий технологічний модуль (ПВТМ), 3 - поточно-спіральний технологічний модуль (ПСТМ), 4 - транспортний ротор, 5 - ПВТМ, 6 - транспортний ротор, 7 - ППТМ, 8 - транспортний ротор, 9 - поточно-

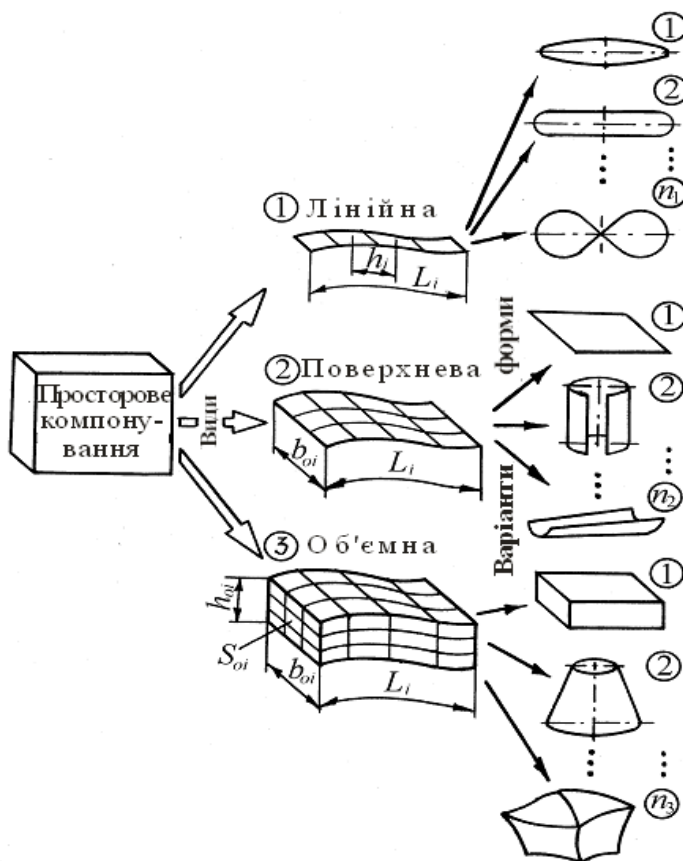


Рис. 8. Види і варіанти технологічних зон ППТМ

глободний технологічний модуль [8], 10 - транспортний ротор, 11 - блок технологічного впливу (БТВ), 12 - предмет обробки (ПО), 13 - просторова траєкторія руху БТВ, 14 - осьовий потік БТВ, 15 - замкнута рекурентна траєкторія руху БТВ. Надходять ПО в ППТС по вхідному потоку V , а вивантажуються по вихідному потоку W . Стрілками позначено напрямки обертального руху підсистем ППТМ.

В якості прикладів наведемо деякі варіанти ППТМ, які розроблені в рамках цієї роботи і представлені на рис. 10 і рис. 11.

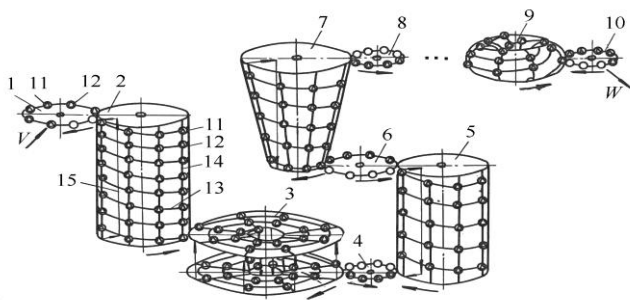


Рис. 9. Принципово-структурна модель ППТС

13 яких зачеплені з гвинтовою спіраллю 2 робочого шнека 1. У період вантаження, поздовжня вісь БТВ 9 розташована паралельно поздовжній осі робочого шнека 1. Так як робочий гвинтовий шнек 1 має змінні геометричні параметри, то відстань H (рис. 10) змінно по висоті ПВТМ, що забезпечує робоче переміщення повзунів 13 БТВ 9 у період роботи технологічного модуля. На хвостовиках 3, 4

На рис. 10 представлена компоновальна схема ПВТМ, на рис. 10, а - поздовжній розріз, на рис. 10, б - поперечний розріз.

ПВТМ містить робочий гвинтовий шнек 1 з змінними геометричними параметрами спіралі 2, жорстко змонтований за допомогою хвостовиків 3, 4 і стаканів 5, 6 на плитах 7, 8 основи. У кожному потоці БТВ 9 на зірочках 10, встановлених на кронштейнах 11, розміщений ланцюговий конвеєр 12. При цьому на зовнішній стороні ланок ланцюгового конвеєра 12 закріплені БТВ 9, повзуни

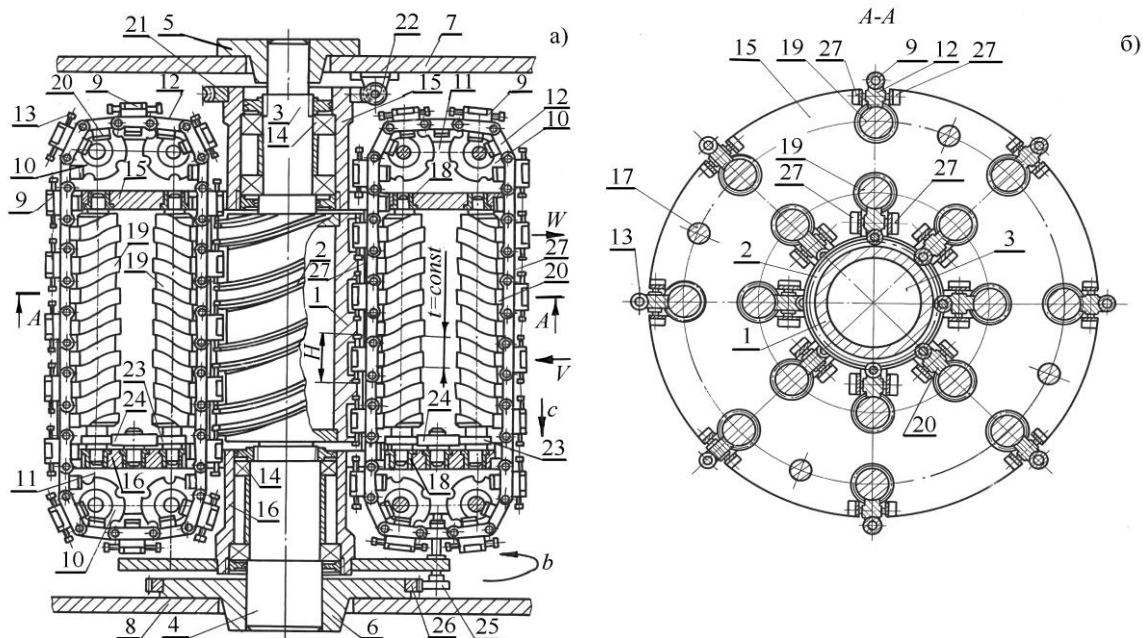


Рис. 10. Основні параметри ПВТМ: а - поздовжній розріз, б - поперечний розріз

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 внутрішній стороні його ланок.

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 є жорстко закріпленим на стакані 6. Для підвищення точності позиціонування БТВ 9 щодо робочого гвинтового шнека 1, ланцюговий конвеєр 12 змонтований в напрямних 27.

ПВТМ працює таким чином. ПО по вихідному потоку V завантажуються в БТВ 9, закріплені на зовнішній стороні ланок ланцюгового конвеєра 12. При цьому завдяки безперервному обер-

тання в напрямку b 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 в підшипникових опорах 18, здійснюється кінематичною передачею 23, 24, 25, пов'язаною з зубчастим колесом 26, що жорстко змонтоване на стакані 6 нижньої плити 8. При переміщенні ланцюгового конвеєра 12, розміщеного на зірочках 10 кронштейнів 11, БТВ 9 зачіпляються повзунами 13 з гвинтовою спіраллю 2 робочого шнека 1, жорстко змонтованого в стаканах 5 і 6. При цьому за рахунок змінності відстані H (рис. 10, а) гвинтової спіралі 2, при проходженні БТВ 9 технологічної зони, реалізується необхідний робочий хід повзунів 13, що й забезпечує обробку виробів. Наявність направляючих 27 підвищує точність і жорсткість позиціонування БТВ 9, закріплених на ланках ланцюгового конвеєра 12. Після обробки ПО, вони вивантажуються з БТВ 9 по вихідному потоку W і передаються по технологічному ланцюгу до наступного ППТМ для подальшої обробки ПЗ.

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

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

де $P_{\text{ци}}$ - циклова продуктивність ПВТМ;

$T_{\text{ци}}$ - час повного кінематичного циклу;

v_{i1} - кількість БТВ в одному ланцюговому конвеєрі;

v_{i2} - кількість ланцюгових конвеєрів ПВТМ.

На рис. 11 наведена компоновальна схема ПСТМ з двома ярусами. У першому ярусі виконується операція завальцювання самостопорних гайок, у другому ярусі - операція закарбування.

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

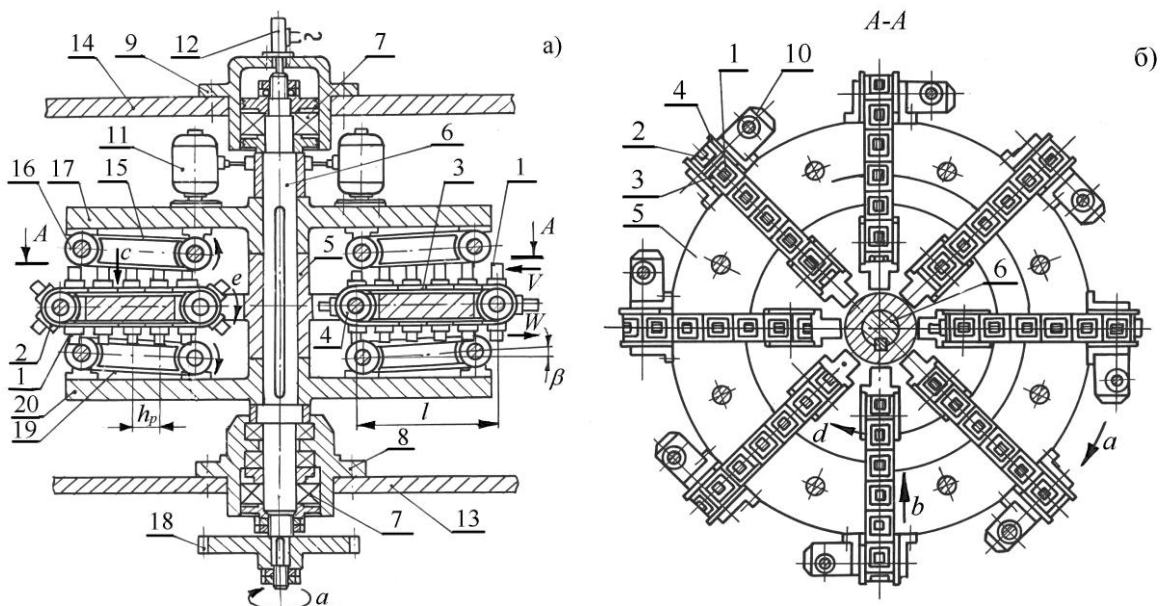


Рис. 11. Основні параметри ПСТМ: а - поздовжній розріз, б - поперечний розріз

4 на яких монтується 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 струмомприймач 12, розташований на станині 9. У нижній частині валу 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 в напрямку a , при цьому переміщення ланцюгових конвеєрів виконується в напрямку b . Сумарний транспортний рух БТВ спільно ПО на довжині l здійснюється по спіральній траєкторії d .

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

4. Висновки

У даній роботі розроблені основи створення і проектування якісно нових високоефективних технологічних систем безперервної дії. Вони відносяться до технологічних систем високої і надвисокої ефективності з 2-D і 3 -D компонентами.

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

Розроблені 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 в 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. *Tehnologia 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. Прейс 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.*