

УДК 621.798

О.А. КРЕСТЬЯНПОЛЬ  
Луцкий национальный технический университет**ФУНКЦІОНАЛЬНЕ МОДЕЛЮВАННЯ ГНУЧКИХ ВИРОБНИЧИХ СИСТЕМ**

*Розглянуто функціональні моделі оптимізації структури гнучкої виробничої системи пакування. Розроблено формалізовану методику побудови оптимальної структури технологічних операцій багатономенклатурного пакування.*

*Ключові слова: функціональна модель, гнучка виробнича система пакування, формалізована методика, багатономенклатурне пакування.*

Е.А. КРЕСТЬЯНПОЛЬ  
Луцкий национальный технический университет**ФУНКЦИОНАЛЬНОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ ГИБКИХ ПРОИЗВОДСТВЕННЫХ СИСТЕМ**

*Рассмотрены функциональные модели оптимизации структуры гибкой производственной системы упаковывания. Разработана формализованная методика построения оптимальной структуры технологических операций многономенклатурного упаковывания.*

*Ключевые слова: функциональная модель, гибкая производственная система упаковывания, формализованная методика, многономенклатурное упаковывание.*

О.А. KRESTIANPOL  
Lutsk National Technical University**FUNCTIONAL OPTIMIZATION MODELS OF FLEXIBLE MANUFACTURING SYSTEM OF PACKAGING**

*It is examined functional optimization models of flexible manufacturing system of packaging. It is developed the formalized methodology of construction of optimal structure of technological operations of multiple packaging.*

*Keywords: functional model, a flexible production system of packaging, formalized method, multiproduct packaging.*

**Постановка проблеми**

Сучасне гнучке пакувальне виробництво висуває суперечливі вимоги до технічних засобів автоматизації виготовлення пакованої продукції. З одного боку, зростання обсягів випуску пакувань висуває високі вимоги до продуктивності устаткування, що зазвичай забезпечується за рахунок його вузької спеціалізації. З іншої - часта змінюваність типів пакувань вимагає переналагоджування технологічних машин і ліній, що може бути реалізоване за рахунок створення універсального устаткування, яке повинно поєднувати універсальність з високою продуктивністю і високим ступенем автоматизації.

Подолання цієї суперечності і є одним з головних напрямів підвищення ефективності автоматизованого пакувального виробництва. Не дивлячись на значні успіхи в автоматизації виробництва, наявність вказаних суперечностей породило велике різноманіття несумісних між собою конструктивних схем автоматизованих засобів.

Тому актуальною стає проблема розробки методів проектування гнучких виробничих систем, в яких досягається компроміс між універсальністю і спеціалізацією устаткування. В основу цієї роботи покладена розробка ефективних групових технологічних процесів пакування для згрупованих виробів-пакувань.

Розвиток ГВС неможливий без використання принципів системного підходу до проектування і перетворення його в методологію аналізу і синтезу ГВС.

**Аналіз останніх досліджень і публікацій**

Однією з перших і головних ознак, що свідчать про можливість створення ГВС є можливість виготовлення різних пакувань у спільному потоці. Для цього необхідно дослідити подібність їх конструкції і розробити методику їх групування з тим, щоби тривалість реалізації процесу переналагодження була найменшою.

В цьому випадку процеси переналагодження розглядаються разом із технологічним процесом пакування, а пакувальні машини-автомати повинні мати таку властивість як гнучкість, тобто бути універсальними і мобільними.

Процеси переналагодження є одними з основних в ГАВ, вони мають такі ж характеристики як і технологічні процеси, тобто мають свою структуру, відрізняються складністю і рівнем автоматизації, характеризуються тривалістю проведення тощо.

Сучасне ГАВ реалізує гнучкий виробничий процес, який складається із багатьох різномірних процесів, які розділяються на три групи: 1) технологічні; 2) нетехнологічні або допоміжні процеси; 3) процеси переналагодження.

1. Технологічний процес є основою виробничого процесу, він представляє собою ту частину виробничого процесу, що включає цілеспрямовані дії, пов'язані із зміною та (або) визначенням стану предмету праці (виготовлення тари, дозування продукту, герметизація упаковки, механічна обробка виробу, складання двох деталей тощо).

2. Нетехнологічні процеси не змінюють геометричну форму, розміри чи фізико-хімічні властивості виробу. Найбільш важливими з них є транспортно-маніпуляційні та контрольно-вимірювальні процеси.

3. Процеси переналагодження також не змінюють геометричну форму, розміри чи фізико-хімічні властивості виробу, але полягають в забезпеченні виготовлення на одній ГВС групи виробів.

Кожен гнучкий технологічний процес складається із гнучких технологічних, допоміжних і операцій переналагодження. Кожна гнучка технологічна операція виконується на одному робочому місці над групою виробів.

Під гнучкою технологічною операцією в ГАВ розуміють закінчену частину технологічного процесу, яка реалізується функціональними механізмами чи модулями, які забезпечують необхідну взаємодію робочих органів з кожним виробом групи для отримання заданого результату при відповідних переналагодженнях.

Кожна гнучка технологічна операція може бути розділена на певну кількість переходів. Ці переходи можуть бути технологічними, допоміжними і переналагодження.

Гнучкий технологічний перехід – це частина операції, що виконується над одним елементом або однією сукупністю елементів кожного виробу групи одним переналагоджуваним інструментом або одним переналагоджуваним набором інструментів при відповідно переналагоджених технологічних режимах.

На відміну від технологічного, допоміжний перехід являє собою закінчену частину технологічної операції, що складається із дій людини і (або) обладнання, що не супроводяться змінами властивостей виробу, але є необхідними для виконання технологічних переходів, а перехід переналагодження полягає в заміні або зміні положення інструментів та коректуванню технологічних режимів.

В свою чергу переходи складаються із робочих, допоміжних і ходів переналагодження.

Робочий хід – це закінчена частина переходу, що складається із однократного переміщення інструменту відносно виробу, при якому здійснюється безпосередня технологічна дія, що змінює властивості виробу.

Допоміжний перехід, в свою чергу, складається із допоміжних ходів, а хід переналагодження, наприклад, зміна довжини робочого ходу інструменту.

Схематично розглянута структура гнучкого виробничого процесу може бути описаною за допомогою схеми, наведеної нижче (рис.1).

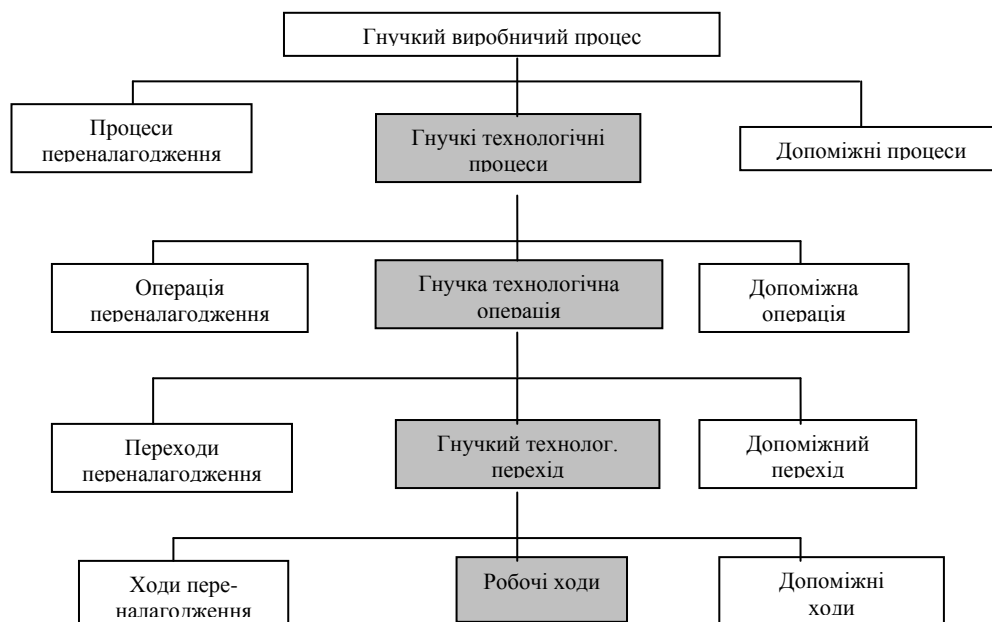


Рис. 1. Функціональна структура гнучкого виробничого процесу

**Формування мети досліджень**

Створення ГАВ неможливе без врахування взаємодії складових структури технологічних процесів і процесів переналагодження. Оскільки ці процеси взаємопов'язані, то вони утворюють один загальний процес, який є основою для оптимізації конструкції системи машин в ГВС.

Слід враховувати, що елементи процесу переналагодження можуть об'єднуватися із елементами технологічного процесу послідовно або паралельно.

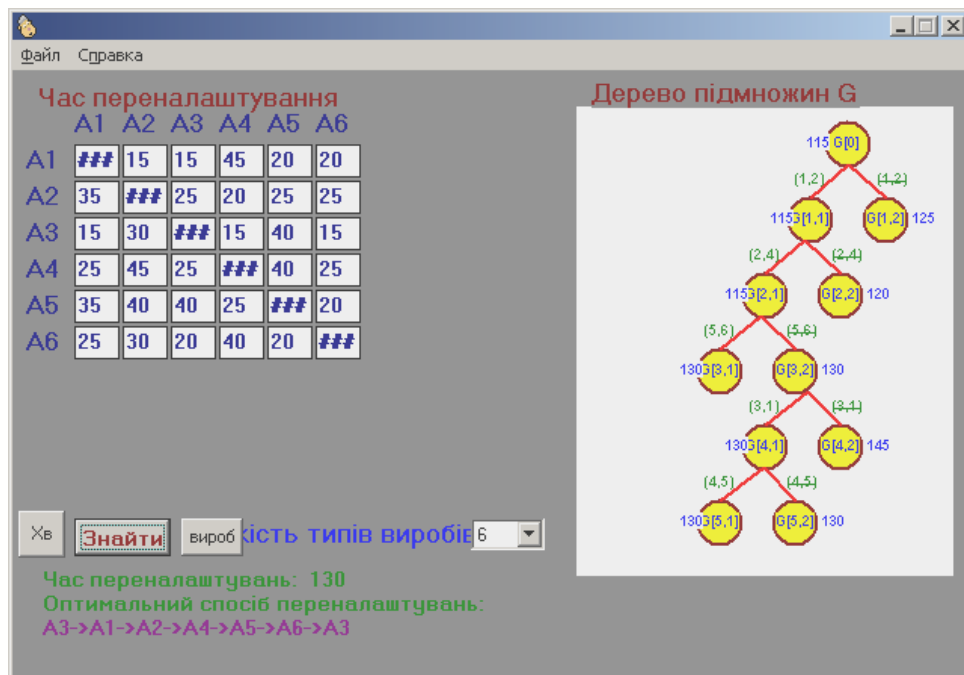
Послідовне об'єднання елементів структури технологічного процесу і процесу переналагодження виникає у випадку зупинки технологічних дій при переналагодженні. Таке переналагодження ще називають внутрішнім.

Паралельне об'єднання елементів структури технологічного процесу і процесу переналагодження виникає у випадку проведення роботи переналагодження за межами робочої зони ГВС, без зупинки технологічних дій при переналагодженні. Таке переналагодження називається зовнішнім.

**Викладення основного матеріалу досліджень**

Визначаючи кожне робоче місце ГВС як спеціалізовану для певної групи виробопераций автоматичну технологічну машину (АТМ), отримаємо із умови забезпечення найвищої концентрації пакування структуру ГВС в вигляді дільниці з технологічно незалежними АТМ. В цих умовах необхідно провести спеціалізацію кожної АТМ на певну групу виробопераций таким чином, щоб сумарний об'єм накопичених виробопераций був достатнім для її повного завантаження, а потім проведемо оптимізацію послідовності переналагодження цих виробопераций для кожної з АТМ в складі дільниці пакування.

Розглянемо гнучку автоматизовану дільницю для випуску групи пакувань ГВС, що включає декілька універсальних АТМ, на кожній з яких обробляють групу виробів із 6-ти виробів, наприклад А1-А6. В загальному випадку при переході від виготовлення однієї групи виробів до іншої час переналагодження буде для різних груп виробів буде різним. В цьому випадку важливим стає визначення такої послідовності випуску різнотипних пакувань, яка дозволить мінімізувати сумарний час переналагоджень. Програмне забезпечення дозволяє розв'язати задачу мінімізації часу переналагоджень машини. З математичної точки зору це є задача комівояжера, де шляхами виступають час переналагодження машини з випуску групи виробів типу  $A_i$  на випуск групи виробів типу  $A_j$ . Для розв'язання використовується алгоритм методу віток і меж.



**Рис. 2. Панель вхідних даних і результат розв'язання оптимізаційної задачі послідовності переналагоджень**

При натисненні кнопки «вироби» переходимо до вікна програми.

Тут вводимо час на виробництво партії запуску кожного з видів продукції у хвилинах (табл.1). Вихідні дані представляють собою матрицю взаємних переналагоджень, в якій елемент з координатами (i,j) задає час, що необхідний на переналаштування машини з випуску групи виробів типу

$A_i$  на випуск групи виробів типу  $A_j$  (вказаний у хвилинах). Ці дані можуть бути завантажені з електронних таблиць.

Таблиця 1

**Тривалість виготовлення партії запуску паковань**

Вид пакування	Час переналадження на наступне пакування, хв	Час виготовлення партії запуску, хв
A3	15	120
A1	15	340
A2	20	90
A4	40	210
A5	20	120
A6	20	120
Всього	130	1000

$$N_{ATM} = \frac{\sum t_{i\ddot{a}\ddot{d}} + \sum t_{\ddot{a}\ddot{d}\ddot{a}}}{F_{\ddot{a}}} = \frac{130\ddot{d}\ddot{a} + 1000\ddot{d}\ddot{a}}{360\ddot{d}\ddot{a} \cdot 0,85} \approx 4 \text{ \ddot{a}\ddot{d}\ddot{e}\ddot{i}\ddot{e} } ,$$

де  $F_d$  – дійсний фонд часу роботи машини в одну зміну з 6-ти годин складає  $360 \text{ хв} \cdot 0,85$ ;

$\sum t_{nep}$  - сумарний час переналаджень;

$\sum t_{виг}$  - сумарний час виготовлення групи паковань.

При натисненні на кнопку «розрахувати» здійснюється розв’язання задачі і виводиться найкоротша послідовність переналаджень в вигляді графа: A3-A1-A2-A4-A5-A6-A3.

Визначивши загальний час, необхідний для виготовлення продукції і проведення необхідних налаштувань, можна визначити скільки машин необхідно задіяти при необхідності випуску всієї групи виробів на протязі однієї зміни.

Основою для створення віртуальних виробничих систем (ВВС) є вже існуючі робочі виробничі системи, орієнтовані на випуск своїх виробничих завдань і які мають фонд вільного часу для свого технологічного обладнання.

Далі на основі виробничої інформації формується конфігурація віртуальної виробничої системи (ВПС) в залежності від результату аналізу нових багатооб’єктних технологічних завдань.

Багатооб’єктне технологічне проектування з інтелектуальним управлінням в ГВС включає в себе методики проектування індивідуальних технологічних процесів і, в результаті їх аналізу генерування можливих варіантів конфігурації віртуальної виробничої системи (ВПС) і відбору кращих.

Таким чином, концептуальна ідея побудови віртуальної виробничої системи полягає в мобільній організації тимчасово функціонуючих об’єктно-орієнтованих виробничих систем для виконання суми поточних технологічних процесів на базі ВВС. Іншими словами, за наявності деякого виробничого завдання необхідна стратегія виконання цих процесів в робочих виробничих системах, що мають фонд вільного часу. При цьому виконання спроектованих технологічних процесів не повинно негативно позначатися на термінах і собівартості випуску основної для цих робочих виробничих систем продукції.

Реалізація ідеї досягається за рахунок формування ВВС раціональної конфігурації, що дозволяє виконувати виробничі завдання у строки, що не перевищують задані, але близькі до них, з мінімальною собівартістю. Такий підхід забезпечує відсутність матеріальних перебудов при формуванні виробничих завдань, мінімальні витрати на зберігання готової продукції та мінімальні обсяги використовуваних ресурсів оперативних виробничих систем.

Процедура технологічного синтезу при багатооб’єктному технологічному проектуванні є частиною проектного завдання синтезу ГВС з оптимальним набором індивідуальних технологій. Виявлення сполучуваності технологій, пов’язаних з функціонуванням конкретної ВВС, що полягає у використанні для них одного і того ж устаткування і інструменту, дозволяє максимально скоротити витрати, підвищити коефіцієнт використання устаткування (рис. 3).

Аналіз сполучуваності технологій, що реалізуються в ВВС, дозволяє визначити необхідність залучення додаткових індивідуальних технологічних процесів в узагальнений маршрут або виключення з нього діючих, але малоефективних.

При вирішенні завдання формування ВВС необхідне формування і застосування баз даних, які містять інформацію, отриману на основі основних наукових положень технології проектування, методів математичного моделювання, системно-структурного аналізу, теорії інформації, множин, математичної логіки, управління, автоматизованого проектування та технології програмування.

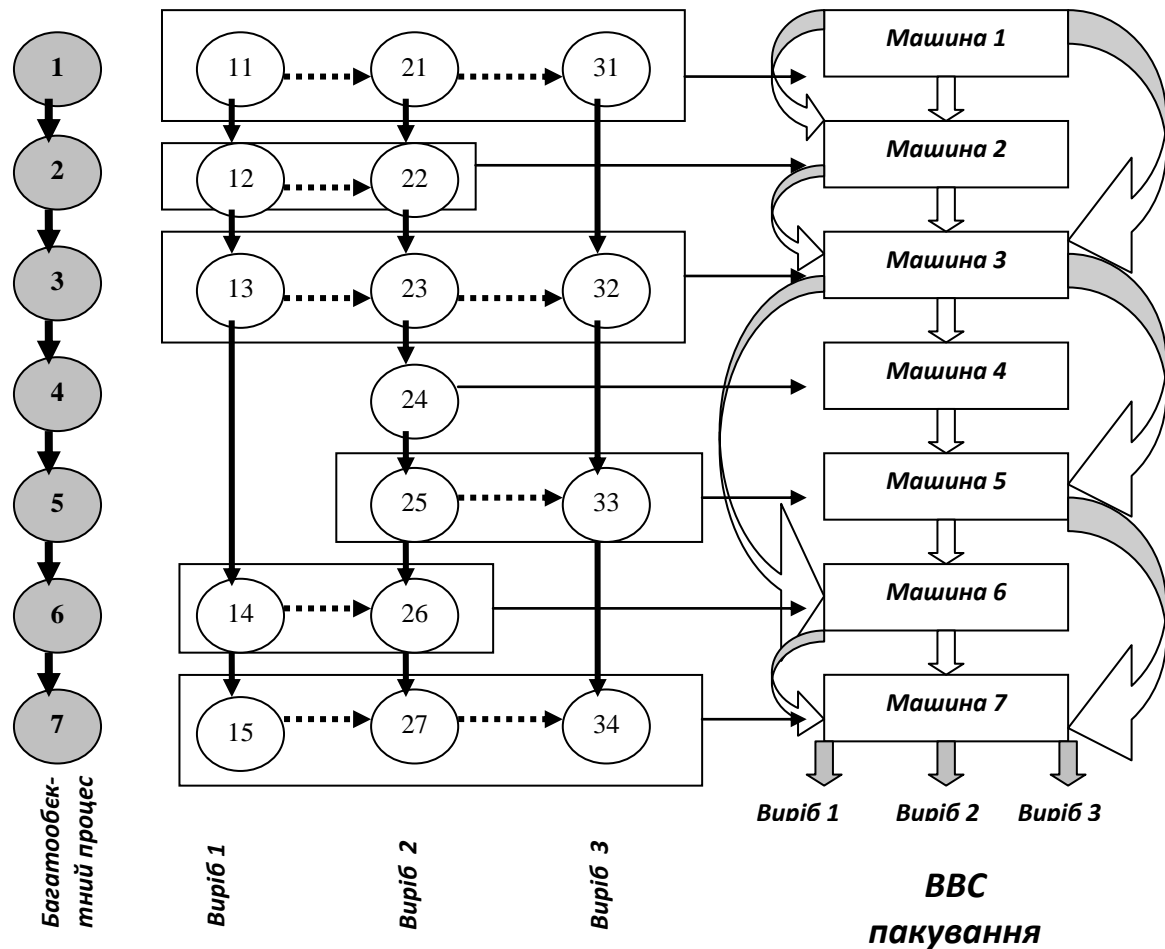


Рис. 3. Багатооб'єктне технологічне проектування для умов ВВС

#### Висновки

1. Проблема автоматизації групового виробництва упаковок в значній мірі обумовлена відсутністю єдиної системної концепції і недосконалістю технологічних основ розробки гнучкої технології пакування, до складу якої входять технологічні операції і операції переналагодження. Такий підхід до функціонального проектування ГВС викликав необхідність розробки методології створення функціональної структури гнучкої технології.

2. Розроблено програмне забезпечення для мінімізації часу переналагоджень машин ГВС.

3. Розроблену методику проілюстровано також на мноагентному технологічному проектуванні для умов ВВС.

#### Список використаної літератури

1. Інформаційне забезпечення гнучких виробничих систем: монографія //Богдан Пальчевський, Антоні Швіц, Володимир Павлиш та інші; За заг. ред. Богдана Пальчевського і Антоні Швіца.- Луцьк: Вежа-Друк, 2014. - 344 с.
2. Banaszak Z.A., Zaremba M.B. Project-driven planning and scheduling support for virtual manufacturing. Journal of Intelligent Manufacturing, Vol.17, No 6, 2006, 641-651.
3. Świc´ A., Mazurek L.: Modeling the reliability and efficiency of flexible synchronous production line. Eksploatacja i Niezawodność – Maintenance and Reliability 2011, 4 (52), s.41-48.
4. Banaszak Z., Systemy informatyczne w zarządzaniu produkcją. W: Informatyka Gospodarcza, Pod red. J. Zawila-Niedzwiecki, K. Rostek, A. Gasirkiewicz, Wydawnictwo C.H. Beck, Warszawa, 2010, 363-400.
5. Сигео Синго. Бістрая переналадка: Революційна технологія оптимізації виробництва/ Пер. С англ.-М.:Альпина Бизнес Брукс, 2006.-344 с.