

**FLEXIBLE TECHNOLOGICAL
COMPLEXES**

ГНУЧКІ ТЕХНОЛОГІЧНІ КОМПЛЕКСИ

UDC 621.002.5.001

Krestianpol O., Ph.D. in Engineering

Lutsk National Technical University / Ukraine

**COMPUTER INTEGRATED DESIGN OF FLEXIBLE PACKAGING PRODUCTION
SYSTEMS**

**КОМП'ЮТЕРНО-ІНТЕГРОВАНЕ ПРОЕКТУВАННЯ ГНУЧКИХ ВИРОБНИЧИХ
СИСТЕМ ПАКУВАННЯ**

Abstract: *The stages of computer integrated design of flexible packaging production systems are considered.*

Анотація: *Розглянуто етапи комп'ютерно-інтегрованого проектування гнучких виробничих систем пакування.*

Keywords: *flexible production system, technological process, product, machine.*

Ключові слова: *гнучка виробнича система, технологічний процес, виріб, машина.*

PROBLEM STATEMENT

The task of designing of FMS of packaging can be formulated as follows. The products of multiple items are packed on the FMS. The workplaces should provide a full range of packaging. Drawings of packages, composition, volume and timing of release the packages, and directories with the characteristics of the equipment and technological equipment for the performing of operations, the sizes of the FMS section are known.

It is necessary:

- to determine the composition of the equipment,
- to distribute operations for workplaces,
- to determine the order of execution and the mode of operations.

The task should be solved so as to minimize the cost of all processes for given conditions.

Design of the FMS at this stage of their development is not possible without the active usage of CAD.

Such CAD should unite subsystem that solves several local problems related with each other:

- the problem of modeling and analysis of the product structure, determination of group model of these products and the sequence of its formation;
- the problem of optimization synthesis of group process structure and group technological operation and formation of technological structure of FMS;
- the problem of optimization synthesis of FMS layout.

There are some widely known procedures that are targeted in any project activities: modeling, information transfer in time and space, receiving of new information. With automated design the major advantage is availability of many alternatives of

ПОСТАНОВКА ПРОБЛЕМИ

Завдання проектування ГВС пакування можна сформулювати таким чином. На ГВС пакуються вироби декількох найменувань. Робочі місця повинні забезпечувати повний цикл упаковки. Відомі креслення упаковок, склад, об'єм і терміни випуску упаковок, каталоги з характеристиками устаткування і технологічного оснащення для виконання операцій, розміри ділянки ГВС.

Необхідно:

- визначити склад устаткування,
- розподілити операції по робочих місцях,
- визначити порядок виконання і режими операцій.

Завдання повинне вирішуватися так, щоб мінімізувати вартість усіх процесів для заданих умов.

Проектування ГВС на даному етапі їх розвитку вже неможливе без активного використання САПР. Така САПР повинна об'єднувати підсистеми, що розв'язують декілька локальних задач, пов'язаних між собою:

- задача моделювання і аналізу структури групи виробів, визначення групової моделі цих виробів і послідовності її утворення;
- задача оптимізаційного синтезу структури групового процесу і групових технологічних операцій та формування технологічної структури ГВС;
- задача оптимізаційного синтезу компоновки ГВС.

Загальновідомими є деякі з процедур, що входять у автоматизовану проектну діяльність: моделювання, перенесення інформації в часі та просторі, одержання нової інформації. При автоматизованому проектуванні основною перевагою стає наявність багатьох альтернатив проектних рішень. Тоді при проектуванні виникають

design solutions. Then in the design, there are two very important steps:

- 1) creation of alternative sets from which one have to choose;
- 2) to determine objectives for the achievement of which the choice is made.

MAIN ARTICLE

1. Integrating design procedures synthesis of technology group

There are three ways of integrating subsystems in CAD:

1. Optimization synthesis of technical solution is focused on the full automation of well-formalized problems that allows to choose alternative for next designing.

2. Creating a knowledge base and expert systems which acquire experience of experts. Intellectual property of expert systems can be realized thanks to the received from the expert knowledge in a particular subject area in the form of facts and empirical rules that allow to determine 1-2 variants of technical solution for next designing.

3. Development of human-machine systems of choice of the best technical solutions when the main emphasis on the part of the person who makes a decision, trying to formalize the selection task.

Functional aspect sets the range of functions that should fulfill FMS. As a result of functional design the composition of problems is determined that are solved by technical means of FMS (i.e. the functional structure of the workflow of FMS is determined).

Structural aspect involves setting of component composition of technical means of FMS. This is a structural or a technical design. Its holding provides synthesis of FMS structure, its analysis and optimization.

Design functional procedure under technology group synthesis. Designing of group process for packaging groups of products of specified range can be done by two ways (Fig. 1):

1. **technological synthesis of group process** that includes analysis of individual processes to specific products of given range and association of similar operations in group, carried out on the same equipment at a certain setup level;
2. **synthesis of complex product** that includes an analysis of the range of construction products, construction of virtual integrated product that includes all the elements of a given product range, construction of group process with group operations for manufacturing of this virtual product and the isolation of a generalized process of individual processes for each product of given nomenclature.

два надзвичайно важливі етапи:

- 1) породження множини альтернатив, з яких потрібно вибирати;
- 2) визначення цілей, заради досягнення яких роблять вибір.

ОСНОВНИЙ ТЕКСТ СТАТТІ

1. Інтеграція проектних процедур синтезу групової технології

Можна виділити три шляхи інтеграції підсистем в САПР:

1. Оптимізаційний синтез технічного рішення, орієнтований на повну автоматизацію добре формалізованих задач, який дозволяє вибрати єдину альтернативу для подальшого проектування.

2. Створення баз знань і експертних систем, які нагромаджують досвід експертів. Інтелектуальні властивості експертних систем можна реалізувати завдяки наявності отриманих від експерта знань у певній предметній області у формі фактів й емпіричних правил, які дозволяють виділити один-два варіанти технічного рішення для подальшого проектування.

3. Розвиток людино-машинних систем вибору кращих технічних рішень, коли основний акцент зроблено на участь самої особи, яка приймає рішення, у спробах формалізувати задачу вибору..

ГВС як складну систему слід розглядати в двох аспектах: функціональному і структурному.

Функціональний аспект встановлює круг функцій, які повинна виконувати ГВС. У результаті функціонального проектування визначають склад завдань, що вирішуються технічними засобами ГВС (тобто визначають функціональну структуру робочого процесу ГВС).

Структурний аспект передбачає встановлення компонентного складу технічних засобів ГВС. Це структурне або технічне проектування. Його проведення забезпечує синтез структури ГВС, її аналіз і оптимізацію.

Процедура функціонального проектування при синтезі групової технології. Проектування групового процесу для пакування групи виробів заданої номенклатури може здійснюватися двома шляхами (рис. 1):

1. **технологічний синтез групового процесу**, який включає аналіз індивідуальних процесів для конкретних виробів заданої номенклатури та об'єднання однотипних операцій в групі, які здійснюються на одному обладнанні при певному рівні переналагодження;
2. **синтез комплексного виробу**, який включає аналіз конструкцій виробів заданої номенклатури, побудова віртуального комплексного виробу, що включає всі елементи групи виробів заданої номенклатури, побудова групового процесу із груповими операціями для виготовлення цього віртуального виробу і вичленування із узагальненого процесу індивідуальних процесів для кожного виробу заданої номенклатури.

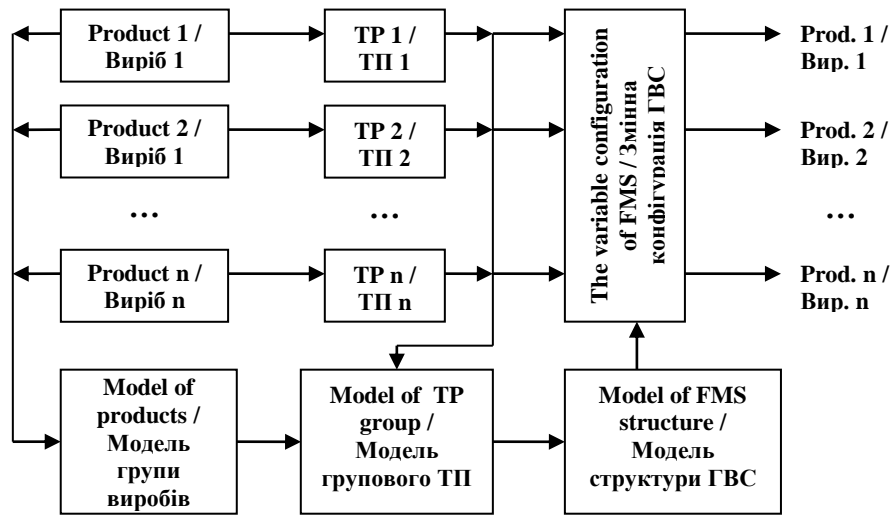


Fig. 1 – FMS design scheme of the product group model or group process model / Схема проектування ГВС від моделі групи виробів або від моделі групового процесу

The procedure of the technological synthesis of the group process [1] is a part of the project task of synthesis of the FMS with the optimal set of technologies. An identification of compatibility of technologies related to the operation of a specific FMS, which is in using for them the same equipment and tools, allows to reduce costs and to increase the coefficient of equipment utilization (Fig. 2)

Процедура технологічного синтезу групового процесу [1] є частиною проектної завдання синтезу ГВС з оптимальним набором технологій. Виявлення сполучуваності технологій, пов'язаних з функціонуванням конкретної ГВС, що полягає у використанні для них одного і того ж устаткування і інструменту, дозволяє максимально скоротити витрати, підвищити коефіцієнт використання устаткування (рис. 2).

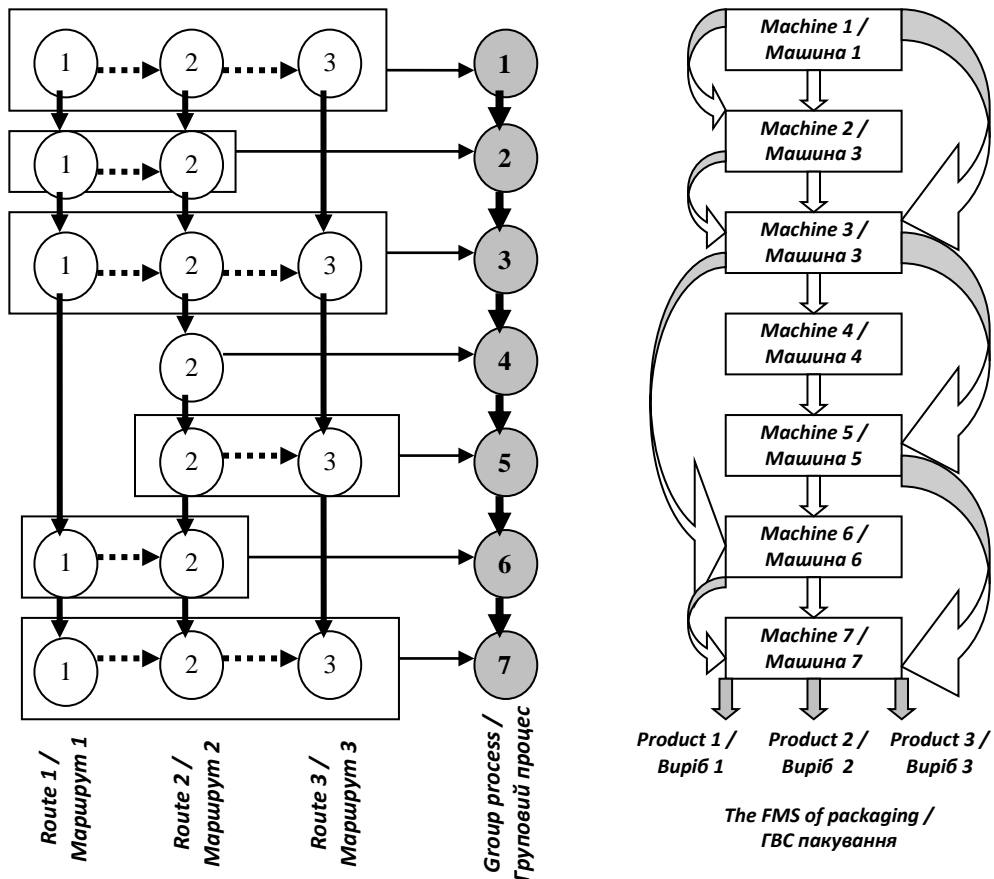


Fig.2 – A group technological process / Груповий технологічний процес

To increase the flexibility of the FMS, it is necessary to predict the sequence of applications for a particular product, in accordance with this to prepare the individual routes for using.

The procedure of synthesis of complex products. This is the second direction synthesis of technology group through an intermediate synthesis of product group models. The basis of the procedure synthesis of product group models their designing and technological grouping and development based on modular-element description of each product model. Product group models are used to create group technological packaging process.

Для підвищення гнучкості ГВС необхідно прогнозувати послідовність заявок на ту або іншу продукцію, щоб відповідно до цього готувати індивідуальні маршрути до використання.

Процедура синтезу комплексного виробу. Це другий напрям синтезу групової технології через проміжний синтез моделі групи виробів. В основу процедури синтезу моделі групи виробів покладено їх конструктивно-технологічне групування і розробка на основі модульно-елементного опису кожного виробу їх моделі. Модель групи виробів використовується для створення групового технологічного процесу пакування.

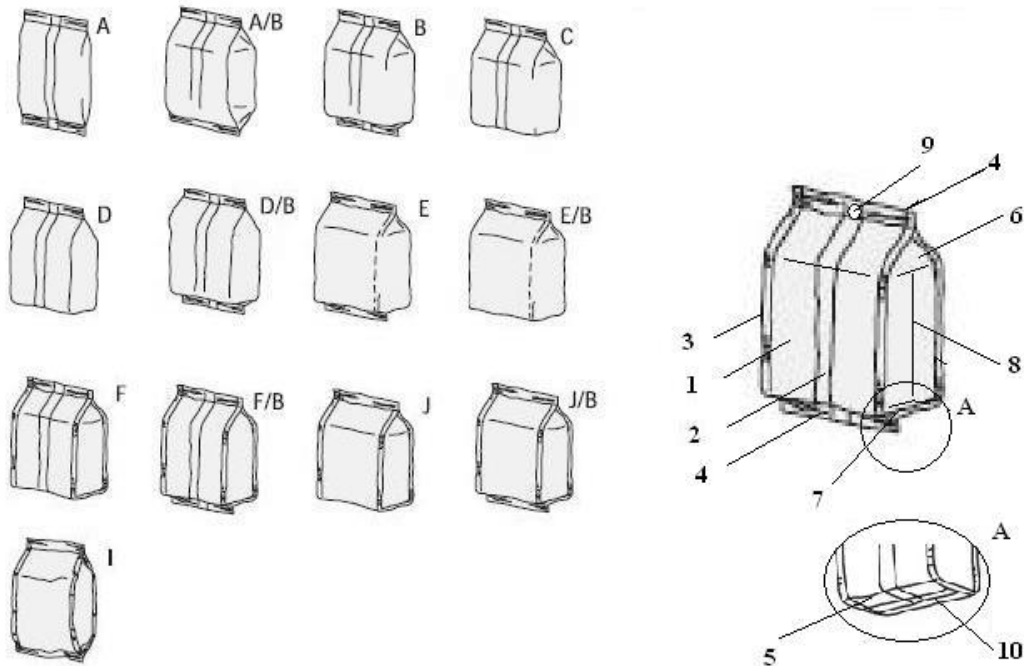


Fig. 3 – Typical constructions of packages for granular products (a) and the elements of a complex package:
 1 – casing, 2 – longitudinal seam, 3 – lateral seam, 4 – transverse seams, 5 – bottom, 6 – the upper fold, 7 – the lower fold, 8 – lateral folds, 9 – the hole for hanging, 10 – curved lower seam / Типові конструкції пакетів для сипких продуктів (а) та елементи комплексного пакета (б): 1 – корпус, 2 – поздовжній шов, 3 – бічна складка, 4 – поперечні шви, 5 – дно, 6 – верхня складка, 7 – нижня складка, 8 – бічні складки, 9 – отвір для підвішування, 10 – піднятий нижній шов

As an example, we will consider the use of such approach to the formation of a group technological process of packaging of granular materials. The most common consumer package of granular materials is a pack – a soft package with casing in the form of a sleeve, with the bottom of various configurations, with an open filler, with or without valves. The first step is defined by a set of constructive elements of the group of packaging (Fig. 3, a). A complex package (Fig. 3, b), on the basis of which is created a group process of manufacturing of packaging used for the synthesis of group manufacturing process of packing. Items included in the group product model denoted a1, a2, ..., a10 accordingly. In addition, there is important the size of the package, from which depends the width of plastic and the magnitude of dragging on a step when setting up the machine. It

Як приклад, розглянемо застосування такого підходу до формування групового технологічного процесу пакування сипких речовин. Найбільш розповсюдженою споживчою упаковкою із плівкових матеріалів є пакет – м'яка упаковка з корпусом у формі рукава, з дном різної конфігурації, з відкритою горловиною, з клапанами чи без них. На першому кроці визначається множина конструктивних елементів групи пакувань (рис.3, а). Комплексний пакет (рис. 3, б), на основі якого і створюється модель групи пакетів, використовується для синтезу групового технологічного процесу виготовлення групи пакувань. Елементи, що входять до моделі групи виробів, позначимо a1, a2, ..., a10 відповідно. Окрім цього важливими будуть і розміри пакета, від яких залежить ширина плівки та величина її протягування на крок при налагодженні машини. Можна вважати, що модель групи виробів є

is believed that this model is set, the subsets of which are all real packages of group. As for the implementation of each constructive element of the package a_{ij} , you must perform a certain technological transition, so for the manufacture of the whole group of packaging, the FMS should have the technological capabilities for the implementation N of technological transitions

$$N = \sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^{m_i} a_{ij},$$

where a_{ij} – j -th element of the i -th package design,

n – number of constructive types of packaging in the group;

m_i – number of elements in the i -th packaging.

As in the real conditions on each of the technological machines can be implemented the multiple transitions, so the total number of transitions N , for which the FMS is created, can be significantly decreased. Moreover, the higher versatility of the equipment, the decrease is more substantial, the fewer pieces of equipment in the FMS and the structure is easier.

The characterization of such flexible technological operation can be determined taking into account time cost in carrying out operations for the production of products and for the readjustment when the product changes.

Defining each work position as FMS as specialised for the certain group of product operations automatic technological machine (ATM), we obtain from the condition of providing the highest concentration in the packaging structure FMS in bay-form with a technologically independent ATM. In these circumstances, it is necessary to specialize each ATM on a specific group of product operations in a such way, that the total volume of accumulated product operations was sufficient for full load and then hold optimization sequence readjustment of this product operations for each of the ATM as part of the packaging bay.

The processes of readjustment are one of the main in the FAM, they have the same characteristics as the technological processes, that is, they have their own structure, they differ in the complexity and by the level of automation, they are characterized by a duration of realization etc.

The sources that lead to the readjustment of the FMS, as a rule can be:

1. **Design** – changing in the designing of the product (shape, size, surface properties, physical and mechanical properties, structure etc.).

2. **Technological** – changing of the technological method, route, the structure of the operation, the change of control methods.

3. **Organizational** – changing of the methods of the transportation, accumulation, storage, program changing of issue or sequence of

множиною, підмножинами якої є всі реальні пакети групи. Оскільки для реалізації кожного конструктивного елемента пакета a_{ij} необхідно виконати певний технологічний перехід, то для виготовлення всієї групи пакувань ГВС повинна мати технологічні можливості для реалізації N технологічних переходів чи операцій, що входять до узагальненого технологічного процесу, а саме:

де a_{ij} – j -ий елемент i -ої конструкції пакування,

n – кількість конструктивних типів пакувань в групі;

m_i – кількість елементів в i -тому пакуванні.

Оскільки в реальних умовах на кожній з технологічних машин можна реалізувати декілька переходів, то загальна кількість переходів N , для якої створюється ГВС при розгляді може бути суттєво зменшена. Причому, чим вище універсальність устаткування, тим суттєвіше це зменшення, тим менше одиниць обладнання в ГВС і тим простіша її структура.

Характеристику такої гнучкої технологічної операції можна визначити при врахуванні витрат часу при виконанні операції на виготовлення виробів та на переналагодження при зміні виробу.

Визначаючи кожне робоче місце ГВС як спеціалізовану для певної групи виробопераций автоматичну технологічну машину (АТМ), отримуємо 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.

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.

Джерела, які призводять до переналагодження ГВС, як правило можуть бути:

1. **Конструкторські** – зміна конструкції виробу (форма, розміри, властивості поверхонь, фізико-механічні характеристики, структура тощо).

2. **Технологічні** – зміна технологічного методу, маршруту, структури операції, зміна контрольних і керуючих методів.

3. **Організаційні** – зміна методів транспортування, накопичення, зберігання, зміна програми випуску чи послідовності випуску партій різних виробів.

Якщо застосування конструкторських чи технологічних методів скорочення часу переналагодження

productivity of different products.

If the use of design and technological methods of reducing readjustment time is sufficiently known [15], we will also consider organizational methods, namely optimization process of sequence starting of different types of products in manufacturing. Let's consider flexible automated bay for the production of packing FMS groups that include several universal ATM, each of which is manufactured with the product group of 6 products, such as A1-A6. In general, making the transition from producing one product group to another one readjustment time will differ for different groups of products. In this case it is important to determine the following sequence of production of different types of packaging that will minimize the total time of readjustment. The software is designed to solve the problem of time minimizing of machine readjustment. From a mathematical point of view it is the commercial traveller problem, where the roads are readjustment time of machine for the production of products of A_i type to A_j one. For the method of solution used algorithm of branches and boundaries.

The output data is the matrix of related readjustments, in which the element with coordinates (i,j) specifies the necessary time for machine readjustment from the element releasing A_i on the element releasing A_j (specified in minutes). This data can be loaded from the electronic tables.

є достатньо відомим [15], розглянемо також організаційні методи, а саме процедуру оптимізації послідовності запуску різних типів виробів у виробництво. 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.

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 хвиликах). Ці дані можуть бути завантажені з електронних таблиць.

Table 1
Production duration of launch party of packaging / Тривалість виготовлення партії запуску пакувань

Type of packaging / Вид пакування	Time of readjustment for the next packaging, min / Час переналагодження на наступне пакування, хв	Time production of launch party, min / Час виготовлення партії запуску, хв
A3	15	120
A1	15	340
A2	20	90
A4	40	210
A5	20	120
A6	20	120
In all / Всього	130	1000

Solution to problem is done by the "branches and boundaries" method and gives consistency of readjustment [16]: A3-A1-A2-A4-A5-A6-A3.

Розв'язання задачі здійснюється методом «віток і меж» і дає послідовність переналагоджень [16]: A3-A1-A2-A4-A5-A6-A3.

2. Project procedure integration of FMS structure synthesis

The effectiveness of any complex system, which includes almost all of automated packaging lines, largely depends on felicity of choice of main, auxiliary and transport equipment and its layout. Search the optimal structure of FMS packaging, which in most cases is created on the basis of serial technology and transport equipment is the decisive stage of the creation of new technology. Therefore, in the packaging design of FMS there is a problem of selection and functional coordination

2. Інтеграція проектних процедур синтезу структури ГВС

Ефективність будь-яких складних систем, до яких належать практично всі автоматизовані лінії пакування, в значній мірі залежить від вдалості вибору основного, допоміжного та транспортного обладнання та його компонування. Пошук оптимальної структури ГВС пакування, яка в більшості випадків створюється на основі серійного технологічного і транспортного обладнання, є вирішальним етапом створення нової техніки. Тому в процесі проектування ГВС пакування постає проблема підбору

of main and transport equipment that will perform certain complex packaging process transactions with a given performance. Among the numerous of possible options received at generation step, the integral optimization criterion is inserted at the evaluation stage, which would determine the most effective option.

Therefore, to evaluate variant structure was chosen integral indicator of functionshn efficiency of the automated line, namely the cost per unit. This indicator assesses both specifications of the automated line (performance, reliability, durability, quality of products) and economic (cost of equipment, energy and complexity of manufacture of the product, etc.). The most effective option is structure variant of automated line that has the lowest numerical value of production cost.

Software implementation of optimal structure of automated packaging line search is based on a modular structure, i.e. consists of some relatively independent parts – a design procedures. It includes the following modules: user interaction module, deleting module of line structure, search optimal structure module, product cost calculation module and database module.

Scheme of structural links between modules – the program procedures is shown in Fig. 4.

та функціонального узгодження основного і транспортного обладнання, яке буде виконувати визначений технологічним процесом пакування комплекс операцій із заданою продуктивністю. Серед чисельних можливих варіантів, отриманих на етапі генерування, на етапі оцінювання вводиться інтегральний критерій оптимізації, який дозволив би визначити найефективніший варіант.

Тому нами для оцінювання варіанту структури було вибрано інтегральний показник ефективності функціонування автоматизованої лінії, а саме собівартість одиниці продукції. Такий показник оцінює як технічні характеристики автоматизованої лінії (продуктивність, безвідмовність, довговічність, якість виробів), так і економічні (вартість обладнання, енерго- і трудомісткість виготовлення виробу тощо). Найефективнішим вважається варіант структури автоматизованої лінії, який має найменше числове значення собівартість продукції.

Програмна реалізація пошуку оптимальної структури автоматизованої лінії пакування має в своїй основі модульну структуру, тобто складається із окремих відносно незалежних частин – проектних процедур. У неї входять такі модулі: модуль взаємодії з користувачем, модуль викреслювання структури лінії, модуль пошуку оптимальної структури, модуль обчислення собівартість продукції та модуль роботи з базами даних.

Схема структурних зв'язків між модулями – процедурами програми представлена на рис. 4.

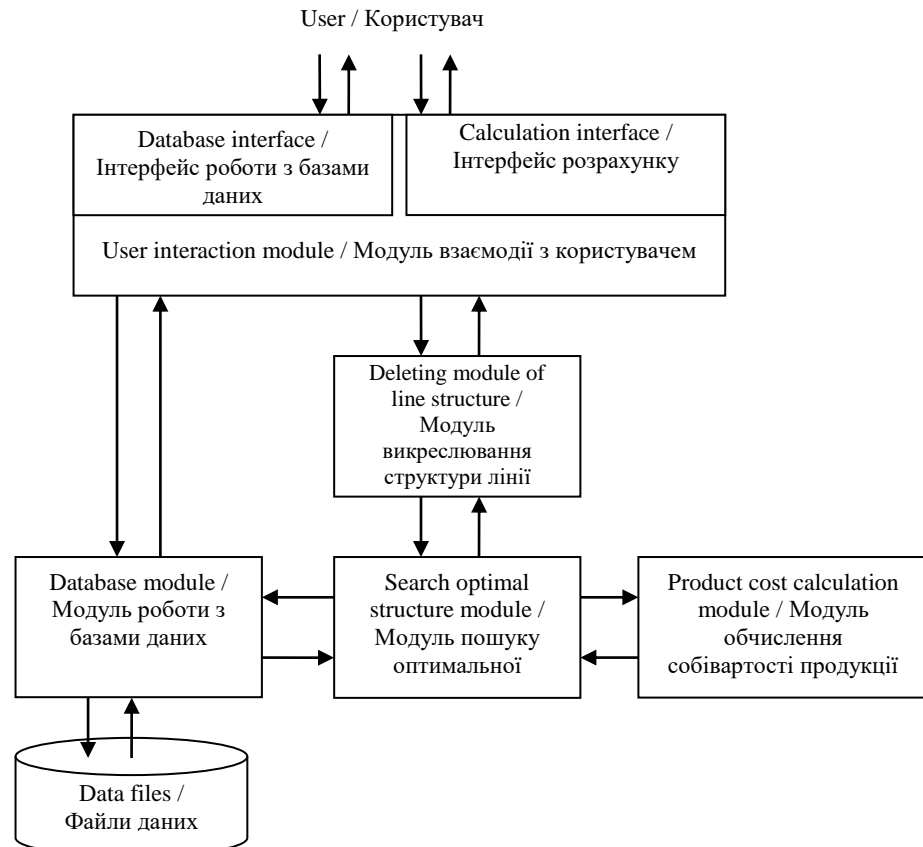


Fig. 4 – Scheme of intermodule interaction in the program / Схема міжмодульної взаємодії в програмі

User interaction module can be divided into interface to a database that allows users to view, edit, and delete data from a database and monitors correct input and calculation interface that allows the user to set all the necessary search parameters and displays the results.

Deleting module structure received input parameters from calculation interface module of interaction with the user, based on the results of the search optimal structure module of the automated line, build layout structure of the automated line.

Search optimal structure module – it actually is software implementation of the method of "branches and boundaries". Moreover, he turns to work with database module and to calculate the reduced unit costs at every step – the relevant module. Optimization of FMS is done by generating the set of all possible structural options, which imposed certain restrictions, for example, set performance and their evaluation and selection criteria for the cost of production. Was used the method of "branch and bound".

Variations of automated line structure are described in a tree-form with ramifications for each operation that is performed in an automated line. It is used Line array containing a list of equipment and calculating unit production cost accumulated since the start of manufacturing operations to total Wytr. Each branching threads are choices of equipment included in an automated line, and its level determines the operation performed. The mechanism of optimization is to find the shortest path from the highest to the lowest level, and at every turn the value of accumulated cost production is determined. All found variants is memorable. If at some level accumulated production cost will be higher than in already found variant, then this branch and all its subsidiary branches are not considered.

In the first step of the equipment model is chosen to perform the first operation, then the second and the rest of the operations. Then it is determined for the first version of the structure that satisfies the given constraints of performance, the value of production cost. This value of production cost is taken as the maximum. Then the search is conducted that at each branching already accumulated of production cost with the highest production cost was compared. If the resulting value is less than the maximum, then the search continues, but if not, then return to the previous branching and switch to the other branches of trees are carried out. In case when search has reached the end of a tree, the maximum production cost value assigned to this option, and then again repeat the previous steps to bypass all the branches of the tree.

Schematic module flowchart that implements the method of branches and boundaries can be represented as follows (Fig. 5).

Product cost calculation module. To assess

Модуль взаємодії з користувачем можна умовно поділити на інтерфейс роботи з базами даних, який дозволяє користувачу переглядати, редагувати та видаляти дані із бази, а також здійснює контроль коректності вводу, і інтерфейс розрахунку, який дозволяє користувачу задавати всі необхідні параметри пошуку та виводить результат.

Модуль викреслювання структури одержавши вхідні параметри від інтерфейсу розрахунку модулю взаємодії з користувачем, на основі результатів роботи модулю пошуку оптимальної структури автоматизованої лінії, будує компонувальну структуру автоматизованої лінії.

Модуль пошуку оптимальної структури – це власне і є програмна реалізація методу "гілок і меж". Причому за даними він звертається до модулю роботи з базами даних, а для обчислення питомих приведених витрат на кожному кроці – до відповідного модулю. Оптимізація структури ГВС здійснюється шляхом генерування множини всіх можливих структурних варіантів, на які накладаються певні обмеження, наприклад, задана продуктивність, та їх оцінювання та відбір за критерієм собівартості продукції. Був використаний метод „гілок і меж”.

Варіанти структури автоматизованої лінії описуються в вигляді дерева із розгалуженнями на кожній операції, що виконується в автоматизованій лінії. Використано Line масив, що містить перелік обладнання, та блок розрахунку собівартості продукції, накопичену з початку виготовлення до даної операції сумарно Wytr. Кожне розгалуження гілки є вибором варіанта обладнання, що включається в автоматизовану лінію, а її рівень визначає операцію, що виконується. Механізм оптимізації полягає в знаходженні найкоротшого шляху від найвищого рівня до найнижчого, причому на кожному кроці визначається значення накопиченої собівартості продукції. Всі знайдені варіанти запам'ятовуються. Якщо ж на деякому рівні накопичена собівартість продукції буде більшою, ніж в уже знайденому варіанті, то далі ця гілка та всі її дочірні гілки не розглядаються.

На першому кроці вибирається модель обладнання для виконання першої операції, потім другої та решти операцій. Далі визначається для першого варіанту структури, який задовільняє задані обмеження з продуктивності, величина собівартості продукції. Це значення собівартості продукції приймається за максимально допустиме. Далі пошук проводиться таким чином, щоб на кожному розгалуженні порівнювалась вже накопичена собівартість продукції зі максимальною собівартість продукції. Якщо отримане значення менше від максимального, то пошук продовжується, якщо ж ні, то здійснюється повернення до попереднього розгалуження та перехід до інших гілок дерева. В разі, коли пошук дійшов до кінця дерева, значення максимальної собівартості продукції присвоюється цьому варіанту, після чого знову повторюються попередні кроки до обходу всіх гілок дерева.

Принципову блок-схему модуля, що реалізує метод гілок та меж можна представити наступним

the structure of automated line integral index of efficiency of its operation is chosen, that is production cost w . This indicator assesses both technical specifications of the automated line (productivity, reliability, durability, quality of products) and economic (cost of equipment, energy and complexity of manufacture of the product, etc.).

чином (рис. 5).

Модуль обчислення собівартості продукції.
Для оцінки структури автоматизованої лінії вибрано інтегральний показник ефективності її функціонування, а саме собівартість продукції w . Такий показник оцінює як технічні характеристики автоматизованої лінії (продуктивність, безвідмовність, довговічність, якість виробів), так і економічні (вартість обладнання, енерго- і трудомісткість виготовлення виробу тощо).

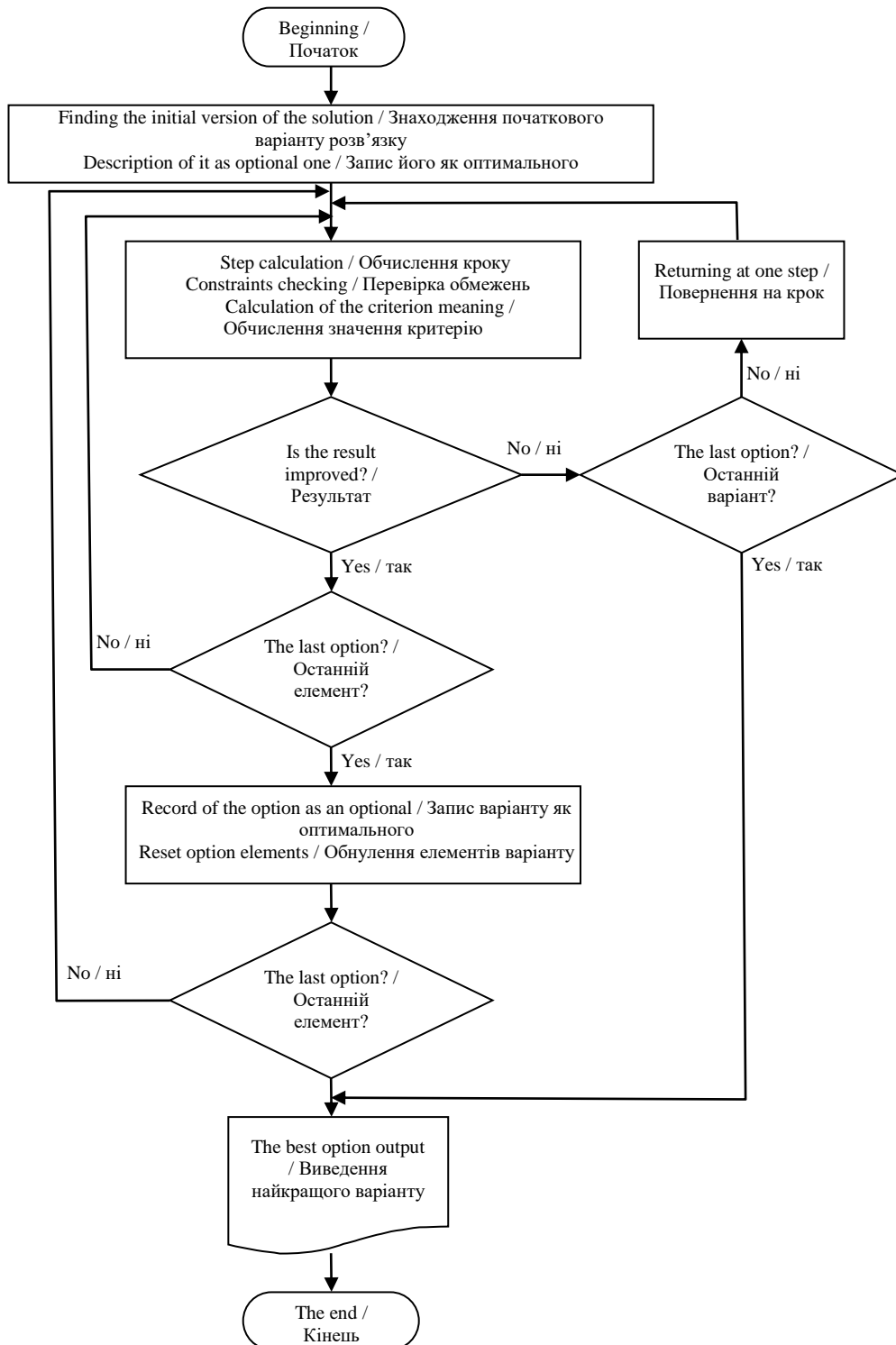


Fig. 5 – The block diagram of directed finding of the optimal variant of FMS by branch and bound / Блок-схема напрямленої пошуку оптимального варіанту ГВС методом гілок та меж

The most effective option is considered automatic line structure that will provide the lowest numerical value of production cost w . Production cost w is determined by:

$$w = \sum_{i=1}^M \left(1,15 \cdot T \cdot a_i \cdot S_p + \frac{0,12 \cdot A_i \cdot a_i}{N_p} \right) + 0,15 \sum_{i=1}^M \frac{a_i \cdot A_i}{N_p}$$

where N_p – annual program of product output,
 S_p – per minute wage for worker, grn./min.,
 A – balanced value of equipment, grn.,
 a – the number of parallel operating equipment during one operation,
 T – duration of duty cycle,
 M – the number of work places (technological operations) in a line.

Найефективнішим вважається варіант структури автоматизованої лінії, який забезпечить найменше числове значення собівартість продукції w . Собівартість продукції w визначається за виразом:

де N_p – річна програма випуску виробів,
 S_p – хвилинна зарплата робітника, грн./хв.,
 A – балансова вартість обладнання, грн.,
 a – кількість паралельно працюючого обладнання на одній операції,
 T – тривалість робочого циклу,
 M – кількість робочих місць (технологічних операцій) в лінії.

CONCLUSIONS

1. The main drawback of modern CAD FMS - is the lack of formalized system transitions between different phases of design, namely between the stages of functional and structural synthesis.

2. The problem of automating packaging group production is largely conditioned of the lack of a unified concept system and technological bases imperfection of developing flexible technology package, which includes manufacturing operations and setup operations. This approach to functional design of FMS caused necessity of designing of creating a functional structure of a flexible technology.

3. The software is developed to minimize readjustment time of FMS machine.

REFERENCES

- [1]. Krestianpol O. Information software for design of flexible manufacturing systems (FMS) of packaging / O.Krestianpol // Technological complexes. 2013. – №2 (8). – p. 169–176.
- [2]. Information support for integrated flexible manufacturing systems: monograph / Bogdan Palchevskiy, Antoni Swic, Volodymyr Pavlysh, Banaszak Zbigniew, Gola Arkadiusz, Krestianpol Olene, Lozynskyi Vasyl; for the general editorship of Bogdan Palchevskiy and Antoni Swic. – Lutsk: Vezha-Print, 2014. – 344 p.
- [3]. Krestyanpol O.A. Construction principles of FMS of packaging production.// Technological complexes. Science journal. – № 1, 2010. – p. 152-159.
- [4]. Krestyanpol O.A., Lasch I.V. Difficulty of material flow products in processing lines. // Scientific notes. Interuniversity collection. – Issue 28. – Lutsk, 2010. – P.274-277.
- [5]. Krestyanpol O.A. Designing features of flexible production systems of packaging production.// Technological complexes. Scientific journal. – № 1(3), 2011. – P. 128-133.

ВИСНОВКИ

1. Основний недолік сучасних САПР ГВС – це відсутність формалізованих системних переходів між різними етапами проектування, а саме між етапами функціонального і структурного синтезу.

2. 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.

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

БІБЛІОГРАФІЧНІ ПОСИЛАННЯ

- [1]. Krestianpol O. Information software for design of flexible manufacturing systems (FMS) of packaging / O. Krestianpol // Technological complexes. 2013. – №2 (8). – P. 169-176.
- [2]. 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.
- [3]. Крестьянполь О.А. Принципи побудови ГВС пакувального виробництва // Технологічні комплекси. Науковий журнал. – № 1, 2010. – С. 152-159.
- [4]. Крестьянполь О.А., Лаш І.В. Оцінка складності матеріального потоку виробів в технологічних лініях. // Наукові нотатки. Міжвузівський збірник. – Випуск 28. – Луцьк, 2010. – С.274-277.
- [5]. Крестьянполь О.А. Особливості проектування гнучких виробничих систем пакувального виробництва // Технологічні комплекси. Науковий журнал. – № 1(3), 2011. – С. 128-133.
- [6]. Крестьянполь О.А. Розвиток методів проектування гнучких виробничих систем пакування //

- [6]. Krestianpol O.A. The development of design methods of flexible packaging production systems// Technological complexes. Science journal. – № 1,2(5,6), 2012. – P. 244-248.
- [7]. Krestianpol Olena. Systematic and Structural Approach to the Formation of Flexible Manufacturing Systems for Packaging. Monografie Computer Aided Production Engineering. – Politechika Lubelska: 2013. – P. 9-19.
- [8]. Krestianpol Olena Wsparcie informacyjne projektowania elastycznych systemow produkcji opakowan. IV Miedzynarodowa Konferencja Naukowo-Techniczna. Wiedza i zarzadzanie przedsiwziecsami w inzynierii produkcji «INTELTRANS 2013», Krakow 109-120
- [9]. Krestyanpol O.A. Features of flexible production systems of packaging production. Materials of international scientific and technological conference. Automation: problems, ideas and solutions. Sevastopol 5-9 September 2013.
- [10]. Krestyanpol O.A. Functional model of flexible production system //// Applied computer science, Journal of science. – Lublin: Lublin university of technology, 2015, Vol.10, No 2.
- [11]. Krestyanpol O.A. Functional modeling of flexible manufacturing systems // Materials of Ukrainian s-t conference "Modern technologies of industrial complex" Issue.2. Kherson, Publisher KHNTU, 2015. – P. 91-95.
- [12]. 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.
- [13]. Świc´A., Mazurek L.: Modeling the reliability and efficiency of flexible synchronous production line. Eksploatacja i Niezawodnosc – Maintenance and Reliability 2011, 4 (52), s.41-48.
- [14]. Banaszak Z., Systemy informatyczne w zarzadzaniu produkcja. W: Informatyka Gospodarcza, Pod red. J. Zawila-Niedzwiecki, K. Rostek, A. Gasirkiewicz, Wydawnictwo C.H. Beck, Warszawa, 2010, 363-400.
- [15]. Shigeo Shingo. Quick changeover: Revolutionary technology of production optimization / Trans. from Engl. – M.: Alpina Business Brooks 2006. – 344 p.
- [16]. Krestianpol O. Functional models of optimization of flexible manufacturing system of packaging/ O.Krestianpol // Technological complexes. 2014. – №2 (10). – P. 160-168.
- Технологічні комплекси. Науковий журнал. – № 1,2(5,6), 2012. – С. 244-248.
- [7]. Krestianpol Olena. Systematic and Structural Approach to the Formation of Flexible Manufacturing Systems for Packaging. Monografie Computer Aided Production Engineering. – Politechika Lubelska: 2013. – С. 9-19.
- [8]. Krestianpol Olena Wsparcie informacyjne projektowania elastycznych systemow produkcji opakowan. IV Miedzynarodowa Konferencja Naukowo-Techniczna. Wiedza i zarzadzanie przedsiwziecsami w inzynierii produkcji «INTELTRANS 2013», Krakow 109-120.
- [9]. Крестьянполь О.А. Особенности гибких производственных систем упаковочного производства. Материалы международной научно-технической конференции. Автоматизация: проблемы, идеи, решения. г.Севастополе 5-9 сентября 2013 г.
- [10]. Крестьянполь О.А.. функціональна модель гнучкої виробничої системи //// Applied computer science, Journal of science.-Lublin: Lublin university of technology, 2015, Vol.10, No 2.
- [11]. Крестьянполь О.А. Функціональне моделювання гнучких виробничих систем// Матеріали Всеукраїнської н-т конференції «Сучасні технології промислового комплексу», Вип.2.-Херсон, Видавництво ХНТУ, 2015. – С. 91-95.
- [12]. 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.
- [13]. Świc´A., Mazurek L.: Modeling the reliability and efficiency of flexible synchronous production line. Eksploatacja i Niezawodnosc – Maintenance and Reliability 2011, 4 (52), s.41-48.
- [14]. Banaszak Z., Systemy informatyczne w zarzadzaniu produkcja. W: Informatyka Gospodarcza, Pod red. J. Zawila-Niedzwiecki, K. Rostek, A. Gasirkiewicz, Wydawnictwo C.H. Beck, Warszawa, 2010, 363-400.
- [15]. Сигео Синго. Быстрая переналадка: Революционная технология оптимизации производства / Пер. С англ.-М.:Альпина Бизнес Брукс, 2006. – 344 с.
- [16]. Krestianpol O. Information software for design of flexible manufacturing systems (FMS) of packaging / O.Krestianpol // Technological complexes. 2014. – №2 (10). – P. 160-168.