

УДК 621.798

В.В. ХАЛАЙДЖІ

ІАЦ “Упаковка”

С.В. ТОКАРЧУК, кандидат технічних наук,

О.М. ГАВВА, доктор технічних наук

Національний університет харчових технологій

ОСНОВИ МОДУЛЬНОЇ СИСТЕМИ ПРОЕКТУВАННЯ ОБЛАДНАННЯ ДЛЯ ГРУПОВОГО ПАКУВАННЯ

Складність технологічної топології процесу групового пакування, високий ступінь взаємозв'язку та параметричного взаємовпливу зумовлюють певні складності дослідного та розрахункового характеру. Ці складності можна вирішити, застосувавши модульний принцип проектування. У роботі на основі аналізу технологій групового пакування розроблено узагальнений граф операцій пакування, а на основі масо та енергопотоків – енергетичні графи.

Ключові слова: *групове пакування, модульна система проектування, операції, енергопотоки, енергетичний граф.*

Сложность технологической топологии процесса групповой упаковки, высокая степень взаимосвязи и параметрического взаимовлияния обуславливают некоторые сложности исследовательского и расчетного характера. Эти сложности можно решить, применив модульный принцип проектирования. В работе на основе анализа технологий групповой упаковки разработан обобщенный граф операций упаковки, а на основе массы и энергопотоков - энергетические графы.

Ключевые слова: *групповая упаковка, модульная система проектирования, операции, энергопотоки, энергетический граф.*

Complication of technological topology of process of group packetings, a high degree of intercommunication and self-reactance vzaimovliyaniya of obuslavlivayut is some complications of research and calculation character. These complications can be decided, applying the modularity of planning. In-process on the basis of analysis

technologies of the group packaging the generalized count of operations of packaging is developed, and on the basis of mass and energy flows are power columns.

Keywords: *correx, module system of planning, operations, energopotoki, power count.*

В Україні останні десятиліття спостерігався досить стрімкий розвиток виробництва обладнання для пакування харчових продуктів у споживчу тару. В той самий час відчувається гостра потреба в машинах для групового пакування. Групове пакування полягає в пакуванні однакових (однотипних) пакувальних одиниць або непакованої штучної продукції в групову упаковку. Найбільш розповсюджені споживчі упаковки у формі паралелепіпеда або подібні до нього. Це пачки з картону, паперові пакети та жерстяні банки для сипкої продукції, пакети з комбінованих матеріалів для рідкої і в'язкої продукції, брикети з пресованою і обгорнутою в пакувальний матеріал продукцією, коробки з дрібно-штучною продукцією. Набагато менший обсяг непакованої штучної продукції у формі паралелепіпеда. Це, зокрема, кондитерські вироби, мило тощо.

Споживча упаковка циліндричної форми – друга найбільша група упаковок. Сюди можна віднести пляшки скляні та з ПЕТ, металеві баночки для напоїв, скляні банки для консервованої продукції та жерстяні банки для м'ясних і рибних консервів тощо. До того ж досить широко представлена різноманітна м'яка упаковка для напоїв, соусів, сипкої продукції тощо.

Створення групової упаковки з пакувальних одиниць зумовлене необхідністю забезпечення зручності в користуванні для споживачів, збереження якості та товарного вигляду продукції під час транспортування та зберігання.

Технологія формування групової упаковки залежить від виду, типу споживчої упаковки, способу скріплення, умов транспортування, складування та реалізації, продуктивності ліній пакування тощо [1].

Створення новітніх зразків потокових ліній або машин для групового пакування потребує розробки загальної методики аналізу та синтезу технологій, конструктивних схем таких машин. Основою такої методики є наукове обґрунтування вибору і реалізації критеріїв ефективності. Для пакувального обладнання важливими критеріями ефективності є точність виконання технологічних операцій, забезпечення високої продуктивності при максимальному

суміщенні виконання операцій і руху робочих органів, ступінь гнучкості в переналадженні, мінімальні витрати енергії на пакування та мінімальні витрати на виготовлення і обслуговування машин.

Реалізувати оптимальні значення всіх цих критеріїв в одній машині або в одному її типі досить складно, тому що деякі із них вступають в певне протиріччя. А тому доречно встановити вплив різних факторів на конкретний критерій і на завершальному етапі синтезу створити умови для реалізації оптимального значення одного чи кількох критеріїв, а інші критерії повинні бути в межах допустимих значень. Розв'язуванню цього питання і присвячені ці дослідження.

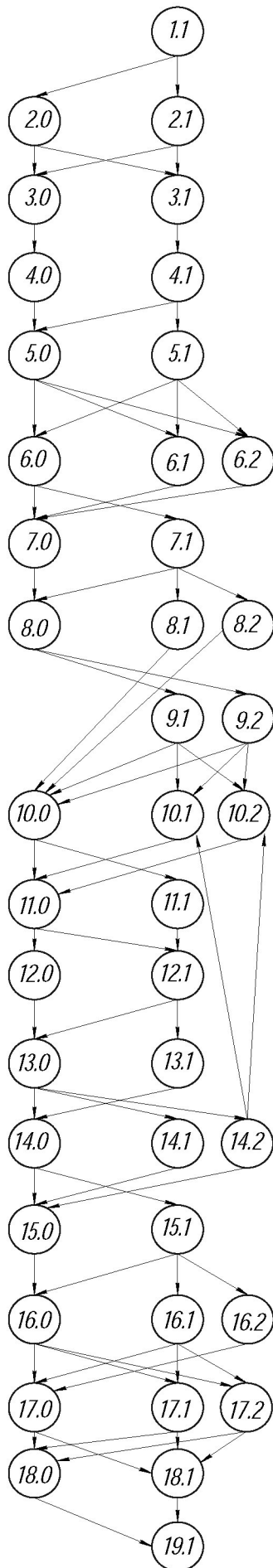
Складність технологічної топології процесу групового пакування, його багатовимірність за кількістю як складових елементів, так і функцій, високий ступінь взаємозв'язку та параметричного взаємовпливу зумовлюють певні складності дослідного та розрахункового характеру під час розв'язання задач аналізу та синтезу обладнання групового пакування [2].

Ці складності можна вирішити, застосувавши модульний принцип проектування, в основу якого покладено топологічний метод аналізу технічних систем [3]. Модульний принцип проектування дає змогу формальним чином встановлювати функціональний зв'язок між технологічною топологією й кількісними характеристиками функціонування системи у вигляді матеріальних та енергетичних навантажень на елементи технічної системи. Топологічний метод аналізу технічних систем базується на аналізі математичних іконографічних моделей систем, якими є початкові і структурні графи, інформаційні та сигнальні графи технічних систем [4]. Застосування таких топологічних моделей дає змогу значний обсяг інформації про технологічний процес групового пакування навести у конкретній і наочній формі.

Для розгляду всіх можливих схем технологічного процесу групового пакування доречно створити структурний граф технологічного процесу (рис.1).

Послідовність виконання основних операцій групового пакування представлена 19 рівнями. Виконання операцій відображено переходами від вищого рівня до наступного нижчого і позначається стрілкою. Цифри в кружках позначають номери технологічних операцій та їх виконання. Цифра «0» означає, що у

розглядуваному варіанті технологічного процесу, який проходить через дану позицію графа, відсутня технологічна операція, що відповідає рівню вказаної позиції.



Γαδαιΰιαίγγυ οΐαεΐατε ιΐάαααεΐεΐ εΐΐαα°οΐι

Γο°Γοααίγγυ οΐαεΐατε ια
ιΐάαααεΐίίιο εΐΐαα°οΐ

ΓαδαααΓοααίγγυ οΐαεΐατε ια
ιααΐηοδαεΐεε εΐΐαα°οΐ

Γαδαιΰιαίγγυ οΐαεΐατε
ιααΐηοδαεΐεΐ εΐΐαα°οΐι

Γο°Γοααίγγυ οΐαεΐατε ια
ιααΐηοδαεΐίίιο εΐΐαα°οΐ

Γοοο=ια οεεααίγγυ οΐαεΐατε
α οαδο (1-αΐδεξίΓοαεΐΐα, 2-ααδοεεαεΐΐα)

ΟΐοΓοαίγγυ οΐαεΐατε

Γοαΐα οεεααίγγυ οΐαεΐατε α οαδο,
εΐοΐε (1-αΐδεξίΓοαεΐΐα, 2-ααδοεεαεΐΐα)

ΟΐοΓοαίγγυ οαααεΐ οΐαεΐαεε
(1-αΐαΐδε; 2 -αΐΐεξο)

Γοοαααεΐΐα οεεααίγγυ οΐαεΐατε
(1-αΐδεξίΓοαεΐΐα, 2-ααδοεεαεΐΐα)

ΓαδαιΓο°Γοααίγγυ οαααεΐ α οαδ οΐαεΐαε

ΟΐοΓοαίγγυ οαδο οΐαεΐαεε

ΓαδαιΓο°Γοααίγγυ οαδο οΐαεΐατε
ο οαααεΐ

Οεεααίγγυ οΐαεΐατε οαδαΐε
(1-αΐδεξίΓοαεΐΐα, 2-ααδοεεαεΐΐα)

ΟΐοΓοαίγγυ αδοΐΐαΐ; οΐαεΐαεε

Οεεααίγγυ αδοΐΐαΐ; οΐαεΐαεε
(1-αΐδεξίΓοαεΐΐα, 2-ααδοεεαεΐΐα)

Γαδαιΰιαίγγυ οααΐηΐοΐι; οαδε ιξ
οΐαεΐαεαΐε (1-αΐαΐδε; 2-αΐΐεξο)

ΓαδαιΓο°Γοααίγγυ ςαΐΐαΐαΐι;
οαδε ια 90°

Γαδαιΰιαίγγυ αδοΐΐαΐ; οΐαεΐαεε
ια ηεδΐεαΐγγυ

Рис. 1. Структурний граф технологічного процесу групового пакування.

Наведений граф відображає наявність та порядок виконання окремих операцій групового пакування. Розгорнутий до основних механізмів граф виявився б значно складнішим.

Зазначений граф охоплює майже всі можливі основні операції групового пакування. Серед варіантів технологічного процесу групового пакування можна виділити два основних (горизонтальний і вертикальний спосіб укладання), які широко застосовуються в сучасних пакувальних машинах для споживчих упаковок форми паралелепіпеда, циліндра та м'яких упаковок.

Для горизонтального способу укладання групової упаковки характерна така послідовність операцій: **1.1–2.1–3.1–4.1–5.1–7.1–9.1–10.1–18.1–19.1**.

Ця послідовність реалізована в багатьох машинах, що формують групову упаковку із картонних пачок, в тому числі і в машині Ш24-ЛЛА розробки Національного університету харчових технологій.

Вертикальний спосіб укладання може бути наведений такою послідовністю операцій: **1.1–2.1–3.1–4.1–5.1–7.1–9.1–15.1–16.2–19.1**. Ця послідовність здебільшого застосовується для упаковок, що скріплюються обгортковим матеріалом.

Основною відмінністю між цими послідовностями виконання операцій є траєкторія руху групової упаковки. Для горизонтального способу характерними є операції горизонтального переміщення структурних елементів групової упаковки в тару та переорієнтування її разом із тарою на 90^0 . Вертикальний спосіб передбачає переміщення структурних елементів групової упаковки в тару у вертикальній площині. Для споживчих упаковок циліндричної форми (банки, пляшки) послідовність виконання операцій групового пакування може бути такою: **1.1–3.1–4.1–12.1–14.2–19.1**.

На основі аналізу послідовностей виконання основних операцій, у разі потреби, виключенням або заміною деяких операцій можна створити необхідну технологічну схему.

Поряд із забезпеченням заданої продуктивності, структури групової упаковки, одним із головних завдань, яке намагаються вирішити під час синтезу даного типу машин, є мінімізація витрат на їх виробництво та експлуатацію. Вартість обладнання прямо пропорційна його матеріаломісткості та енергозабезпеченості. Крім того, однією з головних складових експлуатаційних витрат є споживання

обладнанням енергії. Отже, мінімізація енерговитрат – один із основних шляхів вибору параметрів машини.

Для оцінювання енерговитрат різними функціональними модулями машин групового пакування, наведемо їх топологічні моделі у вигляді графа зв'язків.

На рис. 2 – рис.4 наведені енергетично-потоківі графи групового пакування, що реалізовані в машинах Ш24-ЛЛА, Ш25-АПБ/03П-34, А5-ФПА-4.

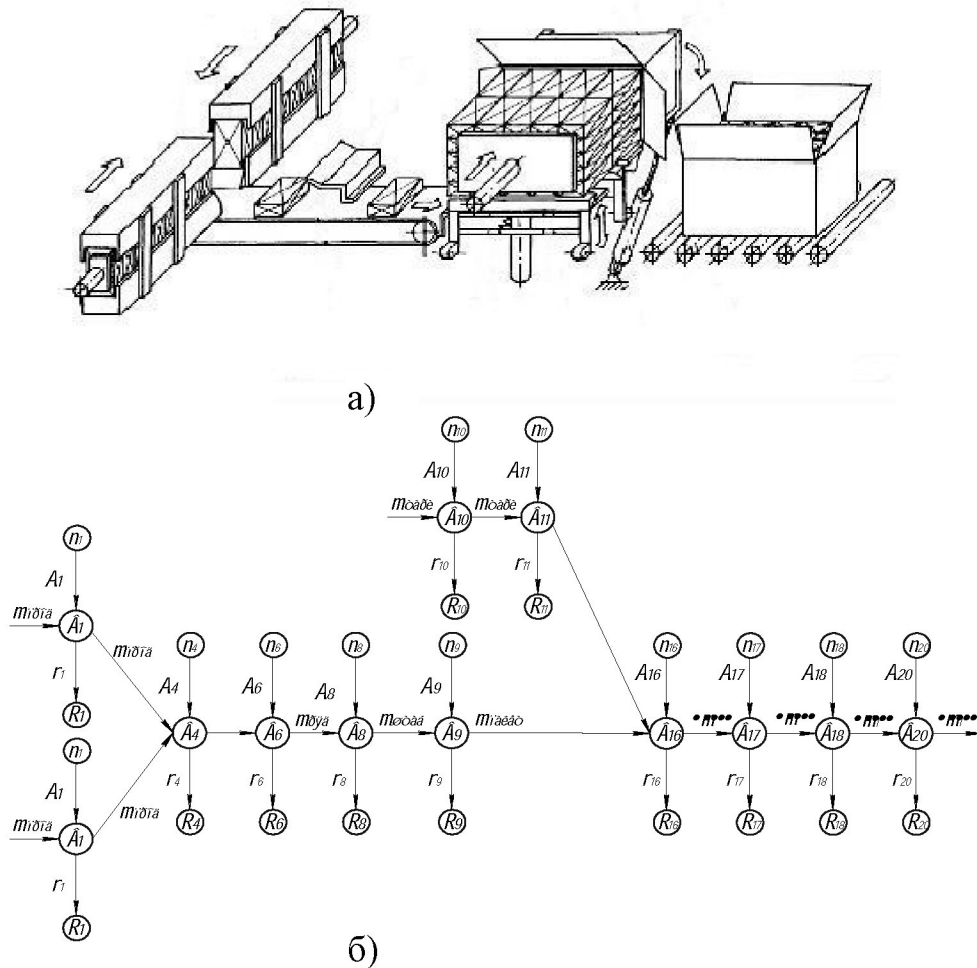


Рис. 2. Схема потокової лінії Ш24-ЛЛА (а), енергетично-потоківий граф (б).

Для побудови енергетично-потоківого графа потрібно звести всі структурні елементи системи до їх енергетичних еквівалентів або до блоків, у яких здійснюється введення, перетворення, розгалуження та розсіювання потоків енергії та маси. Блоки графа показують зв'язки системи із зовнішнім середовищем, а також витрати енергії у складових елементах системи.

Блоки витрат енергії моделюють відповідними споживачами (B_i), які розташовують між джерелами (n_i) та ... (R_i) і зв'язуються з ними та між собою за

допомогою структур злиття і розгалуження.

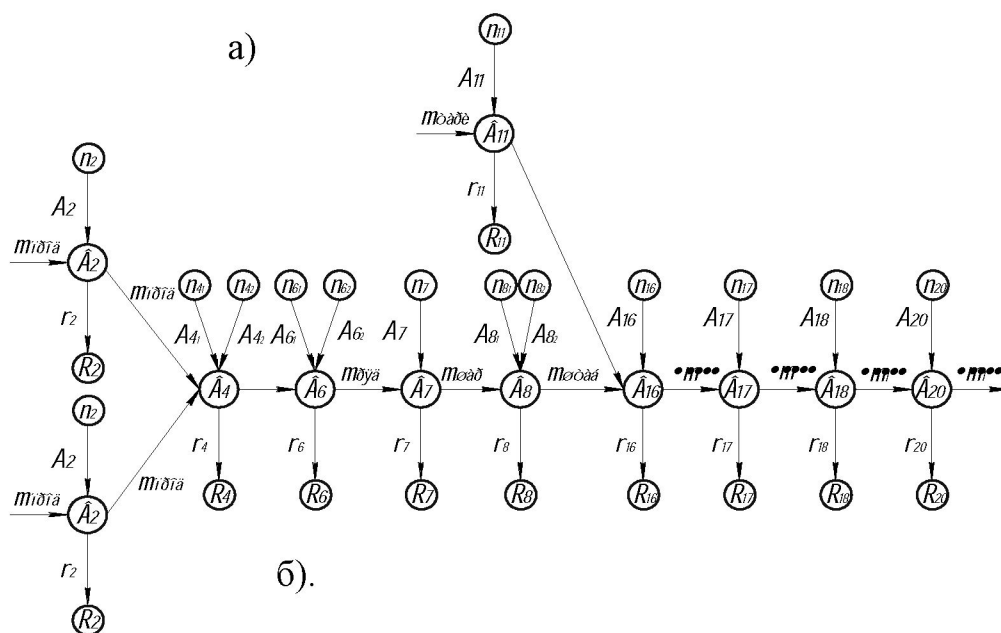
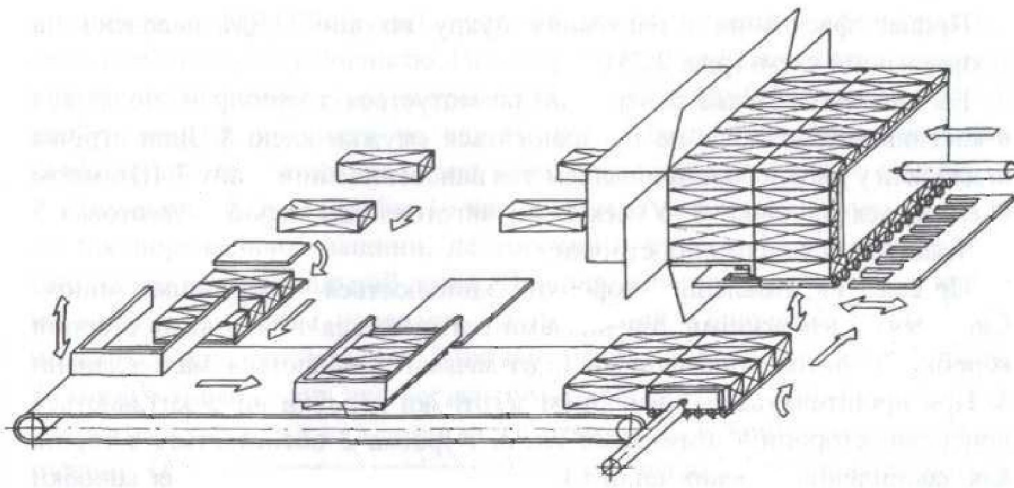


Рис. 3 Схема потокової лінії Ш25-АПБ/03П-34 (а), енергетично-потоковий граф (б).

На рисунку 2 прийняті такі позначення: 1) споживачі енергії: V_4 – переміщення споживчої тари по магістральному конвеєру; V_6 – механізм формування ряду; V_8 – механізм формування штабелю, V_9 – механізм формування пакету, V_{10} – механізм формування тари, V_{11} – механізм подачі виготовленої тари; 2) джерела енергії $n_4 - n_{16}$ – приводи відповідних пристроїв V_{16} – механізм формування групової упаковки з комбінованим переміщенням споживчої тари; 3) стоки енергії: $R_4 - R_{16}$ – споживання енергії у виконавчих механізмах відповідних пристроїв; 4) $r_4 - r_{16}$ – робота що виконується для подолання опорів руху у відповідних пристроях; 5) $A_4 - A_{16}$ – енергія, що передається приводом відповідного пристрою. 6) $m_{\text{тари}}$ – маса одиничної транспортної тари, $m_{\text{прод}}$ – маса одиничної

споживчої тари, $m_{\text{ряд}}$ – маса ряду споживчої тари, $m_{\text{штаб}}$ – маса штабелю споживчої тари, $m_{\text{пакет}}$ – маса пакету споживчої тари, Σm – сумарна маса споживчої та

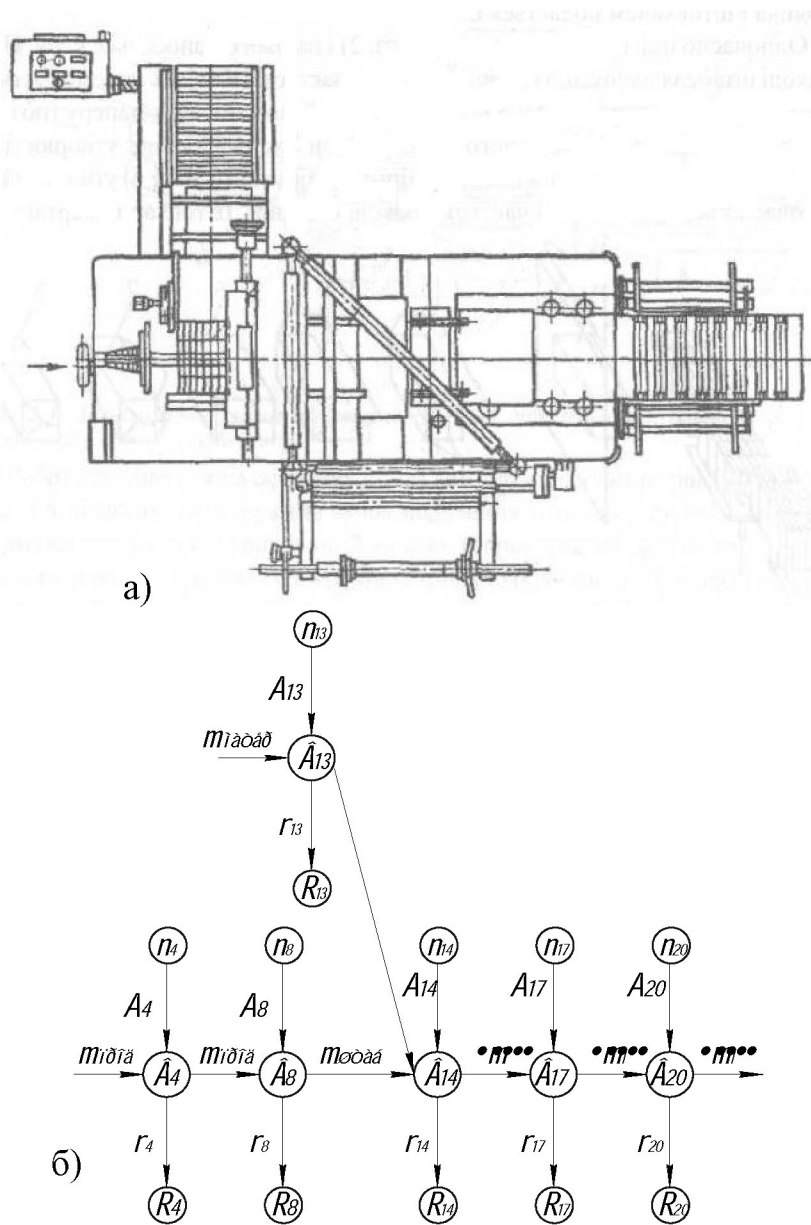


Рис. 4. Схема машини А5-ФПА-4 (а), енергетично-потоківий граф (б).

транспортної тари.

На рисунку 3 прийняті позначення: 1) споживачі енергії: B_2 – механізм формування ряду споживчої тари на подавальному конвеєрі; B_4 – переміщення споживчої тари по магістральному конвеєру; B_6 – механізм формування ряду; B_7 – механізм формування шару, B_8 – механізм формування шару; B_9 – механізм формування пакету; B_{11} – механізм подачі виготовленої тари; B_{16} – механізм формування групової упаковки з комбінованим переміщенням споживчої тари; B_{17} – механізм закриття клапанів транспортної тари; B_{18} – механізм скріплення клапанів транспортної тари; B_{20} – механізм виведення заповненої транспортної тари; 2)

джерела енергії $n_2 - n_{20}$ – приводи відповідних пристроїв; 3) стоки енергії: $R_2 - R_{20}$ – споживання енергії у виконавчих механізмах відповідних пристроїв; 4) $r_2 - r_{20}$ – робота що виконується для подолання опорів руху у відповідних пристроях; 5) $A_2 - A_{20}$ – енергія, що передається приводом відповідного пристрою. 6) $m_{\text{тари}}$ – маса одиничної транспортної тари, $m_{\text{прод}}$ – маса одиничної споживчої тари, $m_{\text{ряд}}$ – маса ряду споживчої тари, $m_{\text{шару}}$ – маса шару споживчої тари, $m_{\text{штаб}}$ – маса штабеля споживчої тари, $m_{\text{пакет}}$ – маса пакету споживчої тари, Σm – сумарна маса споживчої та транспортної тари, Σm_1 – сумарна маса споживчої і транспортної тари та допоміжних пакувальних засобів.

На рисунку 4 прийняті позначення: 1) споживачі енергії: V_4 – переміщення споживчої тари по магістральному конвеєру; V_8 - механізм формування шару;; V_{13} - механізм підготовки і подачі обгорткового матеріалу; V_{14} - механізм формування групової упаковки з горизонтальним переміщенням споживчої тари; V_{17} - механізм закриття клапанів транспортної тари; V_{20} - механізм виведення заповненої транспортної тари; 2) джерела енергії $n_4 - n_{20}$ – приводи відповідних пристроїв; 3) стоки енергії: $R_4 - R_{20}$ – споживання енергії у виконавчих механізмах відповідних пристроїв; 4) $r_4 - r_{20}$ – робота що виконується для подолання опорів руху у відповідних пристроях; 5) $A_4 - A_{20}$ – енергія, що передається приводом відповідного пристрою; 6) $m_{\text{матер}}$ – маса обгорткового матеріалу, $m_{\text{прод}}$ – маса одиничної споживчої тари, $m_{\text{штаб}}$ – маса штабеля споживчої тари, Σm – сумарна маса споживчої та транспортної тари, Σm_1 – сумарна маса споживчої і транспортної тари та допоміжних пакувальних засобів.

На основі енергетично-потокowego графа (кодова діаграма) будуємо граф зв'язків (рис. 5).

Граф зв'язків, побудований для лінії Ш24-ЛЛА, є основою для подальшої обробки та перетворень. Наступним етапом моделювання є перетворення графа зв'язків до вигляду, який надає можливість одержати розв'язок розробленої моделі. Одним із різновидів таких перетворювань є побудова сигнального графа (рис. 6). після побудови сигнального графа до нього можна застосувати основні правила теорії графів, що дає можливість спростити його.

Сигнальний граф – це орієнтований граф, що відповідає лінійним або лінеаризованим системам рівнянь математичної моделі технічної системи й

відображає причинно-наслідковий зв'язок між елементами системи. На рис. 7 наведено сигнальний граф, зведений до його елементарного кінцевого вигляду, що не підлягає подальшому спрощенню.

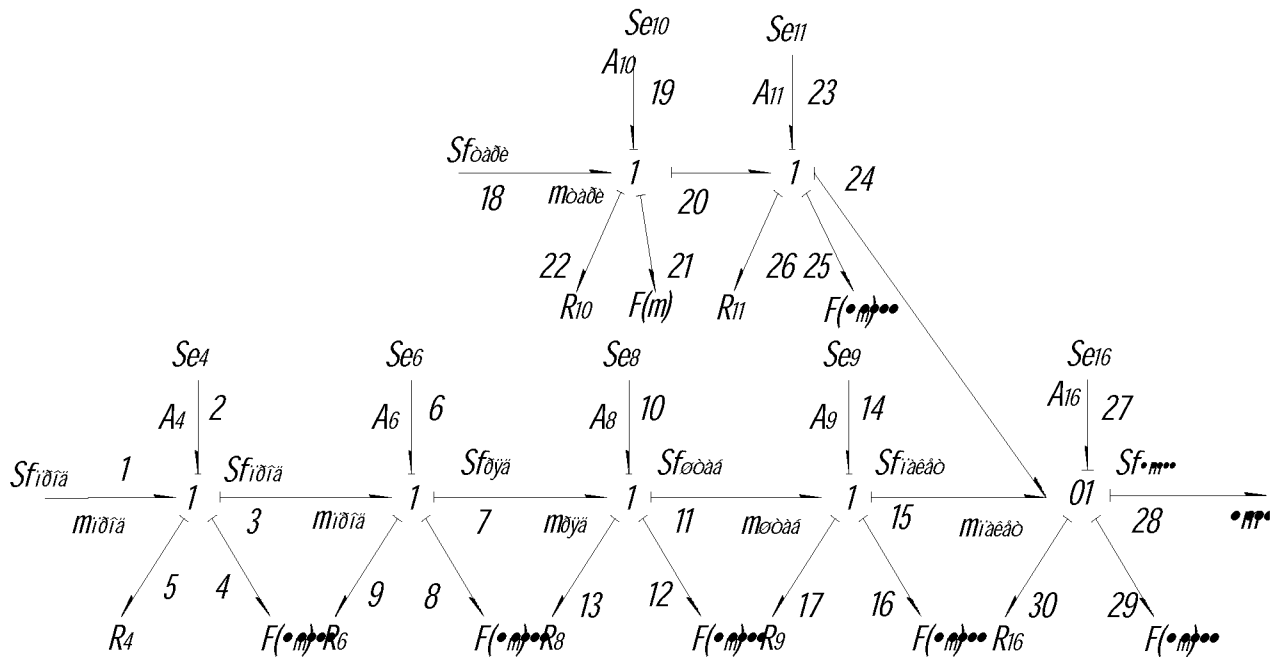


Рис. 5. Граф зв'язків процесу групового пакування, що реалізується лінією Ш24-ЛЛА: $Sf_{\text{прод}}$ – потік маси споживчих упаковок; $Sf_{\text{тари}}$ – потік маси транспортної тари; $Sf_{\text{ряд}}$ – потік маси ряду споживчої тари; $Sf_{\text{штаб}}$ – потік маси штабелю споживчої тари; $Sf_{\text{пакет}}$ – потік маси пакету; $R_4 - R_{16}$ – опір руху та втрати у відповідних пристроях; $Se_4 - Se_6$ – джерела енергії для створення рушійних сил у відповідних пристроях; $F(m)$ – витрати енергії на подолання опору що створюється рухомими масами.

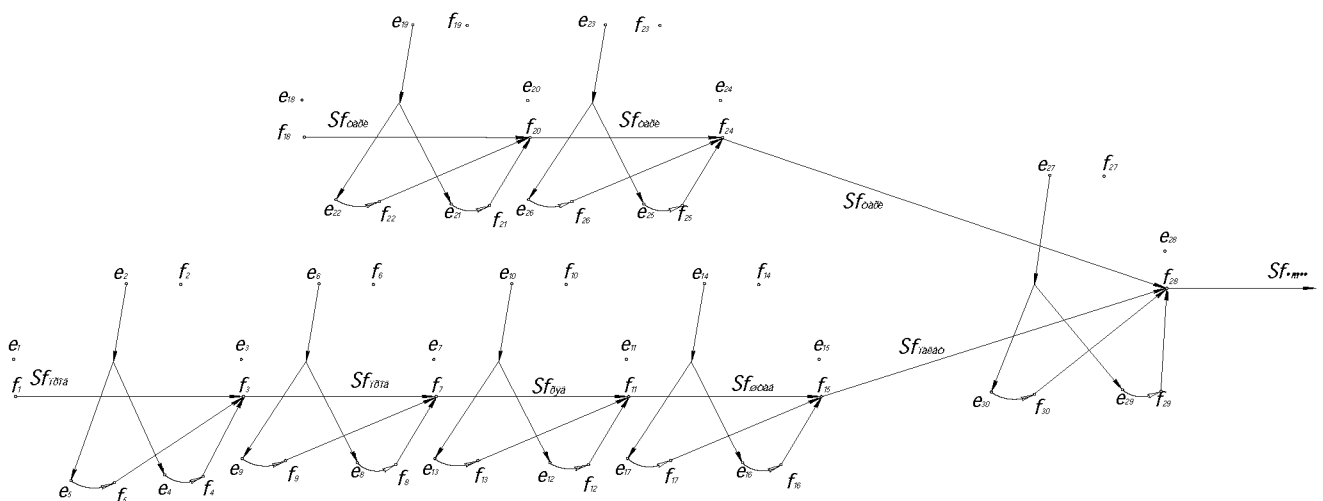


Рис. 6. Сигнальний граф технологічного процесу групового пакування, що реалізується лінією Ш24-ЛЛА

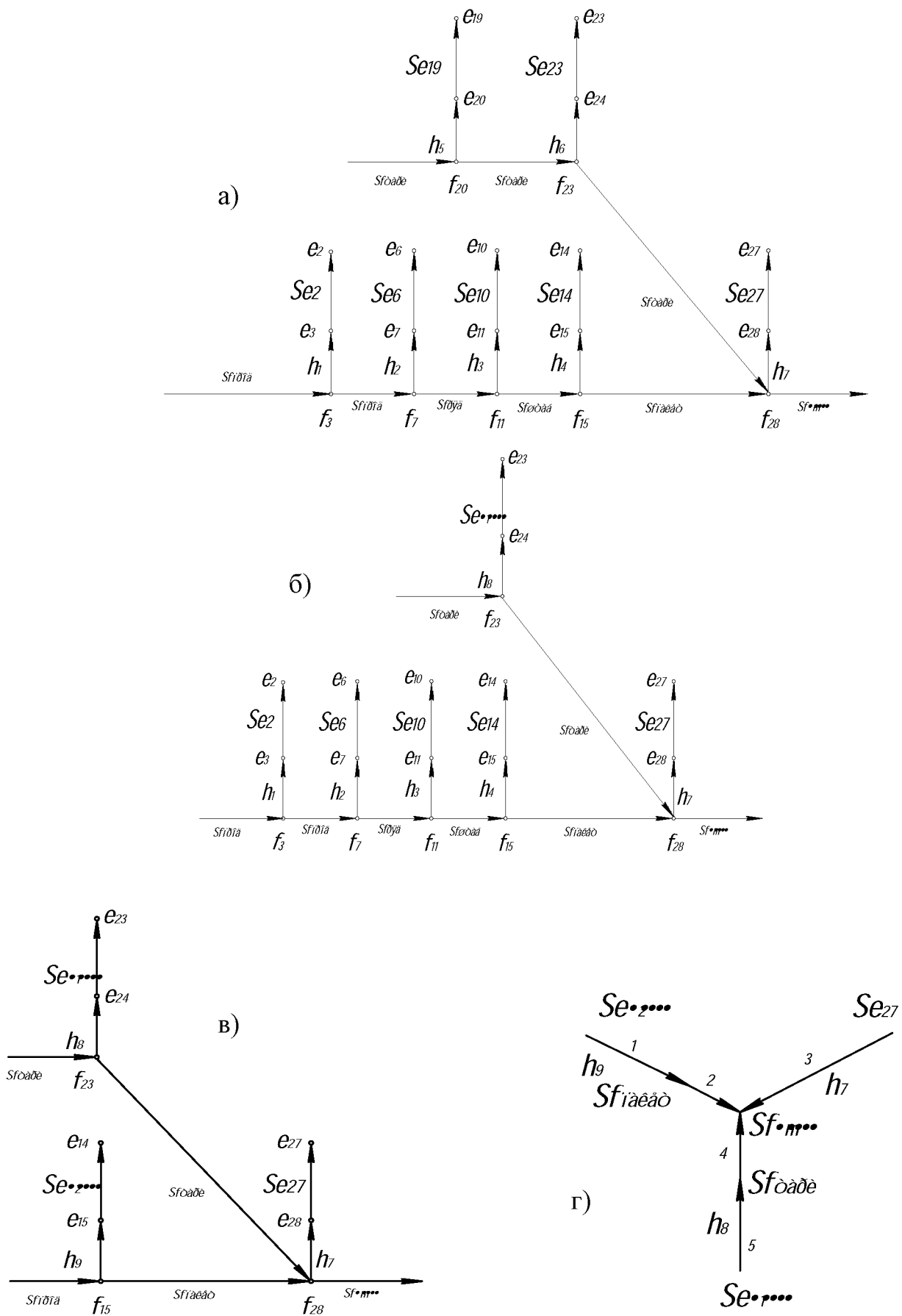


Рис. 7. Етапи спрощення сигнального графа технологічного процесу групового пакування: а - 1-й етап спрощення; б – 2-й етап спрощення; в- 3-й етап спрощення; г- елементарний кінцевий вигляд графу.

Один із способів застосування кінцевого графа базується на положенні, що графи – це топологічна форма інтерпретації системи компонентних рівнянь.

Компонентне рівняння системи, що відображає взаємозв'язок між потоками маси та енергії через елементи системи і системи загалом у наявній формі наведено у наступній матричній формі:

$$\begin{array}{c}
 \begin{array}{cccccc}
 Se_{\Sigma} & Se_{27} & Se_{\Sigma} & Sf_{i\ddot{a}e\dot{a}\ddot{o}} & Sf_{\ddot{o}a\ddot{d}e} & Sf_{\Sigma} \\
 \begin{array}{|c|} \hline 1 \\ \hline \end{array} & & & -1 & & 1 \\
 & & & 1 & & -1 \\
 & 1 & & & & -1 \\
 & & & & 1 & -1 \\
 & & 1 & & -1 & & 5
 \end{array}
 \end{array}
 \quad \text{або} \quad
 \begin{array}{c}
 \begin{array}{cccccc}
 Se_{\Sigma} & Se_{27} & Se_{\Sigma} & Sf_{i\ddot{a}e\dot{a}\ddot{o}} & Sf_{\ddot{o}a\ddot{d}e} & Sf_{\Sigma} \\
 h_9 & & & -1 & & 1 \\
 & & & 1 & & -1 \\
 & h_7 & & & & -1 \\
 & & & & 1 & -1 \\
 & & h_8 & & -1 & & 5
 \end{array}
 \end{array}$$

Тоді:

$$\begin{array}{c}
 \begin{array}{|c|} \hline Se_{\Sigma} \\ \hline \\ \hline Se_{27} \\ \hline \\ \hline Se_{\Sigma} \\ \hline \end{array}
 =
 \begin{array}{|ccc|} \hline h_9 & 0 & 0 \\ \hline 0 & h_7 & 0 \\ \hline 0 & 0 & h_8 \\ \hline \end{array}
 \times
 \begin{array}{|c|} \hline Sf_{i\ddot{a}e\dot{a}\ddot{o}} \\ \hline \\ \hline Sf_{\Sigma} \\ \hline \\ \hline Sf_{\ddot{o}a\ddot{d}e} \\ \hline \end{array}
 \quad (1)$$

З останнього компонентного рівняння масово енергетичні потоки в системі співвідносяться між собою за такими залежностями:

$$S_{f_{\Sigma m}} = S_{f_{i\ddot{a}e\dot{a}\ddot{o}}} + S_{f_{\ddot{o}a\ddot{d}e}} \quad (2)$$

Тобто загальні витрати енергії дорівнюють сумі енергій, що споживаються усіма джерелами системи:

$$Se_{\Sigma} = (Sf_{\Sigma} \times (h_1 + h_2 + h_3 + h_4) + Sf_{\text{тари}} \times h_8) \times h_7, \quad (3)$$

де h_1 - h_9 – передатні функції відповідних гілок елементарного сигнального графа:

$$h_1 = R_1 + F(m), \quad (4)$$

$$h_2 = R_2 + F(m), \quad (5)$$

$$h_3 = R_3 + F(m), \quad (6)$$

$$h_4 = R_4 + F(m), \quad (7)$$

$$h_8 = R_5 + F(m) + R_6 + F(m), \quad (8)$$

$$h_7 = R_7 + F(m). \quad (9)$$

У загальному випадку технологічні опори R споживачів енергії пропорційні коефіцієнтам опору руху упаковок та робочих органів, довжині шляху переміщення робочого органу, швидкостям переміщення упаковок та робочих органів і маси рухомих елементів. Поряд із цим при однакових вихідних даних, слід вибирати технологічні схеми в яких переміщення упаковок і робочих органів менші.

Отримане рівняння (2) використаємо для встановлення відношення витрат енергії у основних функціональних модулях лінії Ш24-ЛЛА. Результати розрахунків наведено у вигляді гістограми (рис. 8).

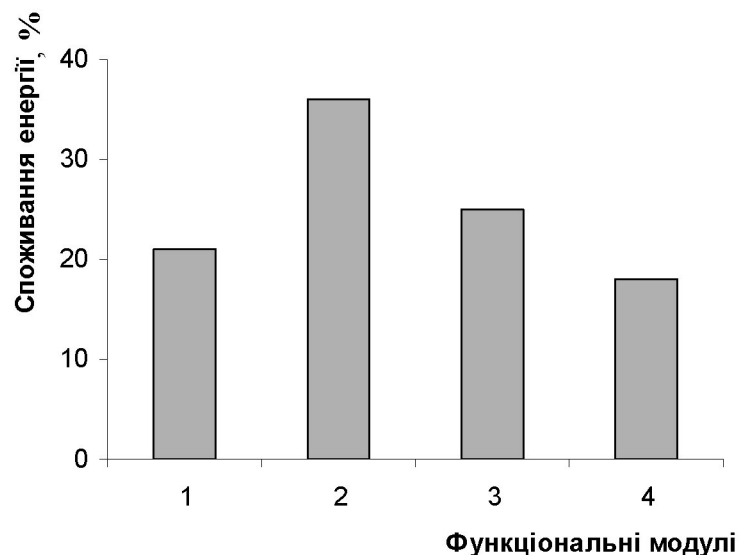


Рис. 8. Гістограма співвідношення споживання енергії у функціональних модулях лінії Ш24-ЛЛА: 1 – механізм подачі упаковок і формування ряду; 2 – механізм формування штабелю упаковок; 3 – механізм переміщення штабелю упаковок у тару; 4 – механізм переорієнтування транспортної тари із упаковками.

Висновки. Проведені дослідження дали змогу стверджувати, що використання принципів модульного проектування сприяють створенню параметричних рядів функціональних модулів машин групового пакування, на основі яких стане можливим розробляти пакувальне обладнання з раціональними параметрами. Під час виконання аналізу та синтезу обладнання для групового пакування доцільно застосовувати топологічний метод аналізу технічної системи. Використання теорії графів дає можливість визначити раціональну технологічну та конструктивну схеми машин групового пакування за умови мінімальних витрат енергії. Співвідношення споживання енергії функціональними модулями лінії Ш24-

ЛЛА показує, що найбільш енергомістким модулем є пристрій формування штабелю групової упаковки і його переміщення в тару.

ЛІТЕРАТУРА

1. *Гавва О.М., Беспалько А.П., Волчко А.І.* Обладнання для групового пакування – К. ІАЦ «Упаковка», 2007 – 136с.
2. *Волчко А.И.* Повышение технического уровня линий укладки штучных грузов пищевой промышленности в транспортную тару. - авт. дис. к.т.н., 1987. – 18 с.
3. *Васильев А.П.* Модульный принцип формирования техники. – М.: Изд.... Стандартов, 1989 – 240с.
4. *Сигорський В.П.* Математический аппарат инженера / Изд. 2-е стереотип. – К.: Техн., 1977 – 768с.

Одержана редколегією 24.02.2010