

УДК: 621.798

О.М. Залета

Луцький національний технічний університет

ФУНКЦИОНАЛЬНО-МОДУЛЬНЕ ПРОЕКТУВАННЯ ТЕХНОЛОГІЧНОГО ОБЛАДНАННЯ НА ОСНОВІ СИСТЕМНОГО АНАЛІЗУ ЙОГО СЛУЖБОВОЇ ФУНКЦІЇ

Представлено результати початкових етапів функціонально-модульного проектування технологічної машини для пакування сипкої продукції у плівкові пакети, виконаного на основі декомпозиції службової функції машини відповідно до принципів методології SADT. Розроблено концептуальну модель машини даного призначення у вигляді SADT-діаграм та побудовано функціонально-структурну схему машини. Наведено конструктивні варіанти функціональних модулів, які можуть формувати склад пакувальної машини згідно розробленої моделі, та описано зв'язки між ними, що є підґрунтям для розв'язування задачі структурно-параметричної оптимізації на подальших етапах проектування.

Ключові слова: проектування, функціональний модуль, структура, модель.

О.М. Залета

ФУНКЦИОНАЛЬНО-МОДУЛЬНОЕ ПРОЕКТИРОВАНИЕ ТЕХНОЛОГИЧЕСКОГО ОБОРУДОВАНИЯ НА ОСНОВЕ СИСТЕМНОГО АНАЛИЗА ЕГО СЛУЖЕБНОЙ ФУНКЦИИ

Представлены результаты начальных этапов функционально-модульного проектирования технологической машины для упаковки сыпучей продукции в пленочные пакеты, выполненного на основе декомпозиции служебной функции машины в соответствии с принципами методологии SADT. Разработана концептуальная модель машины данного назначения в виде SADT-диаграмм и построено функционально-структурную схему машины. Приведены конструктивные варианты функциональных модулей, которые могут формировать состав упаковочной машины согласно созданной модели, и описаны связи между ними, что является основой для решения задачи структурно-параметрической оптимизации на последующих этапах проектирования.

Ключевые слова: проектирования, функциональный модуль, структура, модель.

O. Zaleta

FUNCTIONAL MODULE DESIGN OF TECHNOLOGICAL EQUIPMENT BASED ON SYSTEM ANALYSIS OF ITS SERVICE FUNCTION

The presents results of the initial stages of functional and modular design of a technological machine (polybagger) for packing bulk products into polythene film bags, which were carried out on the basis of decomposition of the service function of the machine in accordance with the principles of the SADT methodology. The conceptual model of this type of machine is developed in the form of SADT-diagrams and the functional and structural scheme of the machine is constructed. The obtained model is used for the generalized mapping of the mutual arrangement of elements of the layout of the projected machine. The constructive variants of functional modules, which can form the composition of the packaging machine in accordance with the developed model, are presented, and the connections between them are described, which are the basis for solving the problem of structural and parametric optimization at the next stages of designing.

Key words: design, functional module, structure, model.

Постановка проблеми. Однією з основних тенденцій розвитку світового машинобудування є скорочення термінів виготовлення продукції при одночасному покращенні її якості та ефективності роботи технологічного обладнання. Це зумовлює потребу у використанні методів проектування, які б забезпечили можливість розробки економічно вигідних, високопродуктивних, надійних технологічних машин (ТМ) з високим рівнем спеціалізації та автоматизації. Проектування технологічного обладнання виступає як комплексна задача, яку формують задачі аналізу, синтезу, моделювання, оптимізації. Проблема створення ефективної методології опису і оцінки його структури за різними характеристиками стає все більш актуальною і вимагає системного підходу до розробки ТМ.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Як об'єкт проектування ТМ являє собою багатокомпонентну структуру зі складними взаємозв'язками складових елементів. Не дивлячись на велику різноманітність існуючих ТМ, котрі відрізняються між собою виконуваними функціями, компоновками і розмірами, їх об'єднує одна спільна властивість: будь-яку ТМ можна розглядати як систему, що складається із великої кількості впорядкованих і взаємопов'язаних функціональних модулів (ФМ) – функціональних пристроїв, кожен з яких є функціонально самостійною та конструктивно закінченою сукупністю механізмів, що об'єднані спільним функціональним призначенням. Таким чином, вимогам до ефективної розробки нових і вдосконалення існуючих структур ТМ задовольняє функціонально-модульне проектування [1, 2, 3]. В основу даного методу покладено принципи структурно-параметричного синтезу, що складається з кількох рівнів:

перший рівень полягає у виборі технічної ідеї або принципу дії створюваної техніки; на другому – здійснюється пошук найкращої структури техніки в рамках вибраного принципу дії, а третій – полягає у встановленні оптимальних значень заданих параметрів (критеріїв оптимізації) для вибраної структури [3, 4, 5]. Проектування компонування проектованого об'єкту є найбільш складним і визначальним етапом з точки зору ефективності проектування. Помилки, допущені на цьому етапі, призводять до небажаних наслідків, котрі негативно позначаються на якості кінцевого результату.

Постановка завдань. Метою даного дослідження є розробка такої математичної моделі, яка б дозволила виконати завдання першого рівня структурно-параметричного синтезу ТМ та виступала б основою для виконання подальших етапів процесу проектування.

Виклад основного матеріалу дослідження. Системний підхід до розгляду ТМ як об'єкта проектування передбачає побудову концептуальної моделі, тобто такої абстрактної моделі, яка відображає структуру об'єкта та зв'язки між його елементами [6, 7].

При створенні цієї моделі враховується два аспекти опису ТМ:

- *функціональний опис*, елементами якого є множина простих функцій та множина відношень між ними, які визначають принципи функціонування ТМ;
- *структурний опис*, елементами якого є ФМ та зв'язки між ними, які створюють компонування ТМ.

Функціональний опис є більш загальним, оскільки кожна технічна функція може бути реалізована багатьма конструктивними варіантами ФМ. Разом із тим, кожен ФМ реалізує лише ту функцію, для якої він був створений. Звідси впливає принцип передування функціонального проектування щодо структурного [3].

Загальний алгоритм оптимізаційного синтезу функціонально-модульної структури ТМ включає наступні етапи [3, 4, 5]:

- 1 – формулювання технічного завдання;
- 2 – декомпозиція службової функції створюваної ТМ;
- 3 – побудова функціональної схеми ТМ;
- 4 – підбір технічних засобів реалізації функцій ТМ;
- 5 – визначення оптимального варіанту структури ТМ;
- 6 – побудова компонуванняльної схеми ТМ.

Даний алгоритм базується на засадах методології SADT (з англ. "Structured Analysis & Design Technique" – методологія структурного аналізу і проектування), що передбачає побудову трьох рівнів концептуальної моделі: функціональної (*f*-моделі), функціонально-структурної (*fs*-моделі), структурної (*s*-моделі) [8].

Кожен з наведених рівнів побудови концептуальної моделі передбачає виконання ряду послідовних етапів.

На першому рівні відбувається виділення найбільш важливої функції ТМ, яка називається головною службовою функцією і, як правило, відповідає первинній меті створення машини [2]. Після цього необхідно здійснити декомпозицію службової функції на основні та допоміжні.

На другому рівні здійснюється підбір технічних засобів для реалізації простих функцій.

На третьому рівні проводиться структурна оптимізація ТМ в цілому.

Отже, будь-яка корисна дія об'єкта виражається через виконувану ним функцію. Його функціональний опис здійснюється у вигляді ***f*-моделі**.

Побудова *f*-моделі об'єкту – одна з основних процедур методології SADT. Вона полягає в декомпозиції службової функції машини, тобто в послідовному виведенні функцій певного рівня з функцій попереднього, починаючи з головної, та встановлення зв'язків між ними. На першому рівні декомпозиції службова функція розглядається як результат спільної дії декількох основних функцій. Основні функції в свою чергу розбивають на допоміжні, які їх реалізують. Декомпозиція певної функції по рівнях *f*-моделі здійснюється доти, поки вона не розпадеться на функції, для здійснення яких стане очевидним використання певного технічного засобу [9].

Принципи реалізації даного методу продемонструємо на прикладі функціонально-модульного проектування машини для пакування сипкої продукції в плівкові пакети.

Декомпозиції службової функції даної пакувальної машини (ПМ) представлена побудованою *f*-моделлю, основними робочими елементами якої є діаграми. Кожна SADT-діаграма містить блоки і дуги. Блоки відображають функції різних рівнів складності. Дуги зв'язують блоки разом та відображають взаємозв'язки та відношення підпорядкування між ними.

Отже, опис SADT-моделі організований у вигляді ієрархії взаємопов'язаних діаграм [9, 10]. Вершина цієї структури є найзагальнішим описом системи, а її основа складається з більш деталізованих описів (рис. 1, 2).

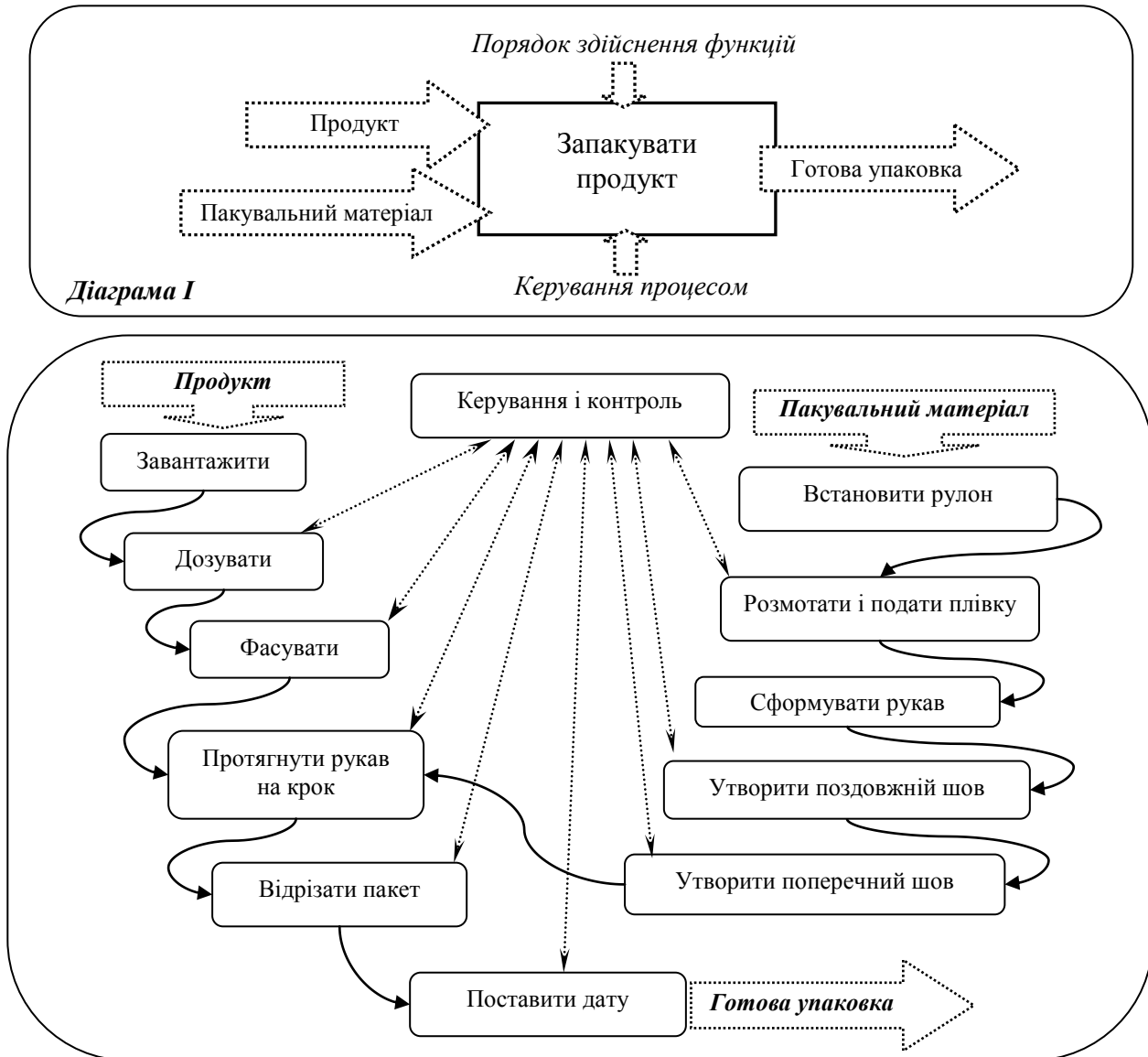


Рис. 1. SADT-модель технологічного процесу пакування сипкої продукції в плівкові пакети (діаграми 1, 2)

SADT-модель, в свою чергу, є основою для побудови проміжної – *fs*-моделі, що представляється у вигляді функціонально-структурної схеми машини, на якій умовно позначені відповідним чином впорядковані та взаємозв'язані ФМ. На рис. 3 показано узагальнену *fs*-модель машини для пакування сипких речовин, яка відображає усі типові ФМ, необхідні для виконання технологічного процесу пакування.

Перехід від функціонального до структурного опису об'єкта, тобто побудова *s*-моделі ПМ, є найбільш складним етапом проектування. Пояснюється це тим, що кожен функцію здебільшого може виконувати ряд типорозмірів ФМ, кількість яких варіюється залежно від виду функції та можливості її одночасної реалізації з іншими функціями одним і тим же ФМ (табл. 1).

Таким чином, порядок взаємного розташування та кількість ФМ у структурі машини визначається послідовністю виконання технологічного процесу пакування, кількістю технологічних операцій, з яких він складається, та функціональними можливостями кожного ФМ.



Рис. 2. SADT-модель технологічного процесу пакування сипкої продукції в полімерні пакети (діаграма 3)

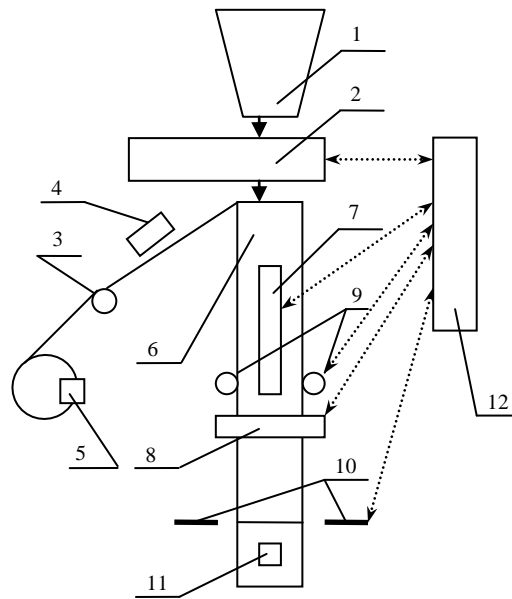


Рис. 3. Узагальнена функціонально-структурна схема (fs-модель) машини для пакування сипкої продукції в плівкові пакети: 1 – бункер; 2 – дозатор; 3 – механізм амортизації плівки; 4 – механізм гальмування і зупинки плівки; 5 – механізм гальмування рулону; 6 – рукавоутворювач; 7 – пристрій поздовжнього зварювання; 8 – пристрій поперечного зварювання; 9 – механізм протягування рукава; 10 – механізм відрізання; 11 – датувальний пристрій; 12 – блок керування.

Таблиця 1.

Типорозміри функціональних модулів машини для пакування сипкої продукції в пакети

Назва ФМ		Умове позначення ФМ	Умове позначення варіанта конструкції ФМ
Бункер	Зі зворушувачем	x_1	x_{11}
	Без зворушувача		x_{12}
Дозатор	Об'ємний	x_2	x_{21}
	Ваговий		x_{22}
	Комбінаційний		x_{23}
Механізм амортизації плівки	Ролик, що обертається на осі	x_3	x_{31}
	Ролик, що рухається поступально		x_{32}
	Ролик, встановлений на коливному важелі		x_{33}
	Ролик, закріплений на рамі		x_{34}
Механізм гальмування і зупинки плівки	Вакуумний	x_4	x_{41}
	Самозаклинювальні гальма		x_{42}
Механізм гальмування рулону	Стрічковий	x_5	x_{51}
	Дисковий		x_{52}
	Важільний		x_{53}
Рукавоутворювач	Комірцевого типу	x_6	x_{61}
	Без коміра		x_{62}
Пристрій поздовжнього зварювання	Зварний ролик	x_7	x_{71}
	Зварна губка		x_{72}

Продовження таблиці 1

Пристрій поперечного зварювання	Зварні губки (ЗГ)		x ₈	x ₈₁
	ЗГ з механізмом відрізання			x ₈₂
	ЗГ з механізмом протяжки			x ₈₃
	ЗГ з вмонтованим дататором			x ₈₄
	ЗГ з механізмами протяжки і відрізання			x ₈₅
	ЗГ з механізмом відрізання і вмонтованим дататором			x ₈₆
	ЗГ з механізмом протяжки і вмонтованим дататором			x ₈₇
	ЗГ з механізмами протяжки, відрізання і вмонтованим дататором			x ₈₈
Механізм протягування рукава	Парні ролики		x ₉	x ₉₁
	Парні сектори			x ₉₂
	Протяжні ремені			x ₉₃
Механізм відрізання	Відрізні ножі		x ₁₀	x ₁₀₁
	Відрізні ротори			x ₁₀₂
Датувальний пристрій	Термодрукуючий		x ₁₁	x ₁₁₁
	Лазерного друку			x ₁₁₂
	Краплеструминного друку			x ₁₁₃

Модифікація конструкції того чи іншого ФМ при цьому реалізується переважно за допомогою таких методів:

- 1) розділення – розбиття складного за конструкцією механізму на окремі;
- 2) об'єднання – укрупнення шляхом сполучення між собою механізмів різного призначення;
- 3) інверсія – заміна одного механізму іншим, зміна його просторового розміщення.

Метод об'єднання виявляється, зокрема, в поєднанні зварювальних пристроїв з іншими механізмами в одному ФМ.

Наприклад, в механізм поперечного зварювання може бути вмонтований ніж, що відрізає пакет вздовж поперечних зварних швів пакета під час змикання зварних губок, а також термодатувальний пристрій, який витискає дату на зварному шві одночасно із його утворенням.

Крім того, зварювальний механізм може здійснювати протягування плівки під час утворення зварних швів – у разі забезпечення можливості його руху вздовж напрямку переміщення рукава, причому протягування можуть виконувати як поперечні зварні губки шляхом опускання на крок, рівний довжині пакета, так і ролик (ролики) поздовжнього зварювання.

Має місце також і сполучення механізмів поперечного та поздовжнього зварювання у вигляді суцільної зварної губки відповідної конфігурації.

Зауважимо, що з врахуванням вищевказаного, не всі ФМ є взаємопоєднуваними, оскільки одну і ту ж функцію повинен виконувати у складі однієї й тієї ж машини лише один ФМ. Граф логічних зв'язків між розглянутими ФМ представимо на рис. 4.

Основною задачею при створенні майбутнього компонування ПМ є виділення серед запропонованих ФМ деякого раціонального набору, який матиме найбільшу ефективність з точки зору якості виконання машиною її службової функції. Для вирішення цього завдання необхідно перейти до виконання наступних процедур оптимізаційного синтезу компонування машини [3]:

- вибір критеріїв оптимальності – певних техніко-економічних показників, які визначають ефективність функціонування об'єкта проектування;
- формування бази даних, тобто присвоєння значень критеріїв оптимальності прийнятим до розгляду ФМ. Ці значення можуть бути відомі, або визначені експериментальним шляхом;
- формулювання постановки задачі оптимізації;
- синтез альтернативних варіантів структури ТМ, що полягає в створенні різних допустимих поєднань ФМ між собою та зводиться до формування множини альтернативних варіантів структури. Метою здійснення синтезу варіанта структури є визначення переліку елементів, що формують об'єкт проектування, та способу зв'язків цих елементів між собою;
- пошук оптимального розв'язку, тобто такого варіанту компонування ТМ, який найбільшою мірою задовольняє умові поставленої задачі;
- розробка компонуальної схеми.

Розроблені у даному дослідженні математичні моделі є основою для виконання вказаних завдань.

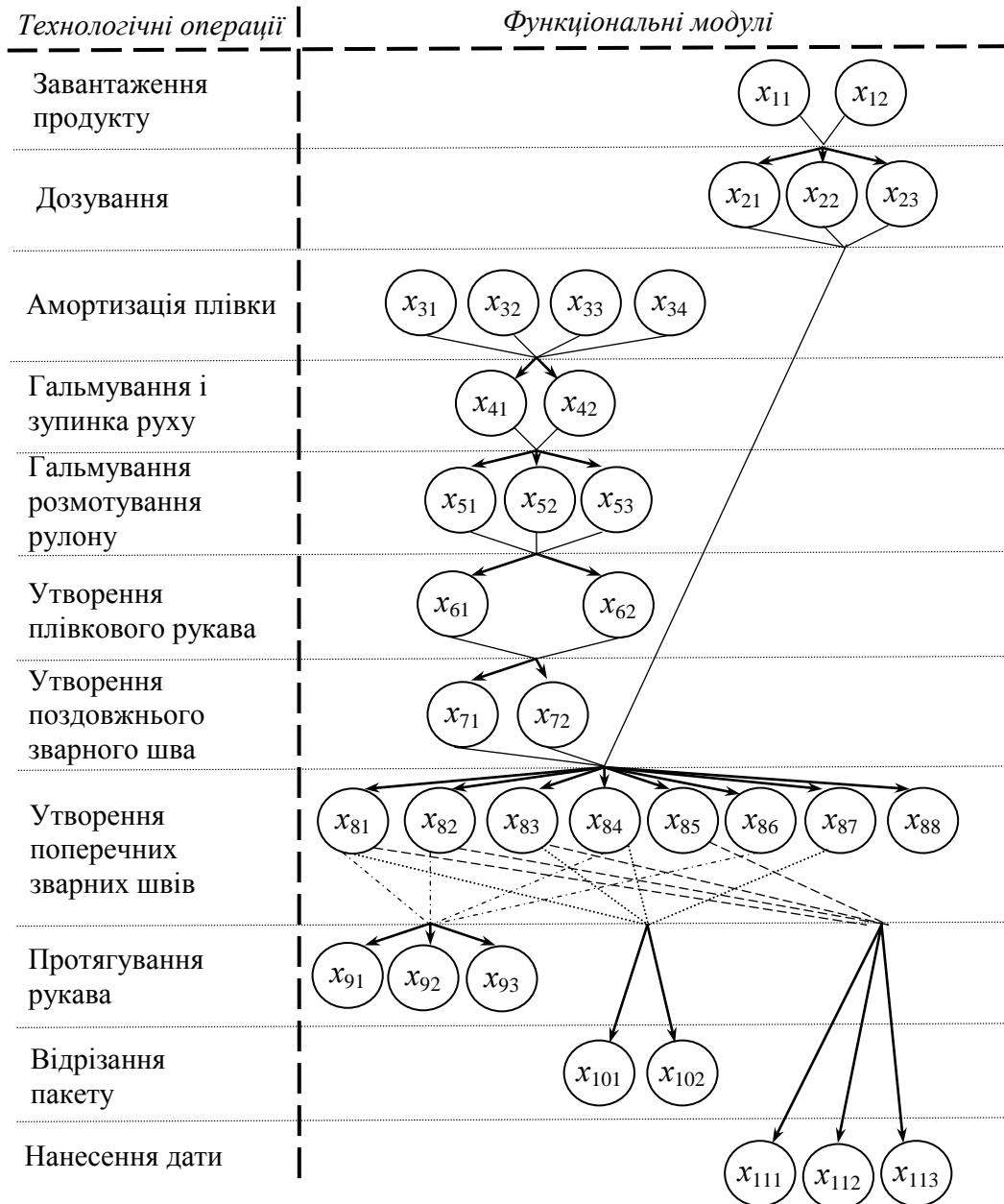


Рис. 4. Граф логічних зв'язків між функціональними модулями

Висновки:

1. Запропонована у даній статті методика створення концептуальної моделі дає змогу з максимальним ступенем деталізації здійснити аналіз службової функції проєктованого технічного об'єкту, що особливо важливо на ранніх етапах його проєктування, коли необхідно врахувати усі функціональні та технологічні особливості, які впливатимуть на якість остаточного результату.

2. Отримана модель використана для узагальненого відображення взаємного розміщення елементів компоновання машини, що у сукупності з наведеними типорозмірами функціональних модулів та графом логічних зв'язків між ними, є підґрунтям для розв'язування наступних рівнів задачі оптимізаційного синтезу машини.

3. Декомпозиція службової функції об'єкта проєктування також є невід'ємною складовою методу функціонально-вартісного аналізу, тому отримані результати можуть братись за основу для наукових досліджень у цьому напрямку.

Список використаних джерел:

1. Пальчевський Б.О. Основні принципи функціонально-модульного проектування пакувального обладнання / Б.О. Пальчевський // Матеріали науково-практичної конференції "Пакувальна індустрія України", 22-25 травня 2007 р., м. Алушта. – К.: 2007. – С. 175–189.
2. Пальчевський Б.О. Дослідження технологічних систем (моделювання, проектування, оптимізація): навч. посіб. / Б.О. Пальчевський. – Львів: Світ, 2001. – 232 с.
3. Пальчевський Б.О. Автоматизація технологічних процесів (виготовлення і пакування виробів): навч. посіб. / Б.О. Пальчевський. – Львів: Світ, 2007. – 392 с.
4. Агрегатно-модульне технологічне обладнання: у 3-х част.: навч. посіб. для ВНЗ / Під. ред. Ю.М. Кузнєцова. – Частина 1. Принципи побудови агрегатно-модульного технологічного обладнання. – Кіровоград, 2003. – 422 с.
5. Кіндрацький Б.І., Рациональне проектування машинобудівних конструкцій: монографія / Б.І. Кіндрацький, Г.Т. Сулим – Львів: КІНПАТРИ ЛТД, 2003. – 280 с.
6. Новосельцев В.И. Теоретические основы системного анализа / В.И. Новосельцев. – М.: Майор, 2006. – 592 с.
7. Томашевський В.М. Моделювання систем / В.М. Томашевський. – К.: Видавнича група BHV, 2007. – 352 с.
8. Дэвид А. Марка, Клемент МакГоуэн. Методология структурного анализа и проектирования SADT (Structured Analysis & Design Technique) [Електронний ресурс] / Дэвид А. Марка, Клемент МакГоуэн. – Электронная БИБЛИОТЕКА, 1999. – 284 с. – Режим доступа: <http://www.interface.ru/fset.asp?Url=/case/sadt0.htm>.
9. Павловский Ю.Н., Смирнова Т.Г. Проблема декомпозиции в математическом моделировании / Ю.Н. Павловский, Т.Г. Смирнова. – М.: Фазис, 1996.
10. Шаповал О.М. Формалізація процедури декомпозиції службової функції при формуванні структури технологічної машини/ Б.О. Пальчевський, О.М. Шаповал // Автоматизація: проблеми, рішення: матеріали міжнародної научн.-техн. конф. – Севастополь: Изд-во СевНТУ, 2009. – С. 137–139.

Стаття надійшла до редакції 03.05.2019