

УСТАНОВА



Навчально-методична

Міністерство освіти і науки України
Тернопільський національний технічний
університет імені Івана Пулюя

Кафедра інжинірингу
машинобудівних технологій

МЕТОДИЧНІ ВКАЗІВКИ

до практичної роботи № 4

на тему:

“ВИКОРИСТАННЯ МЕТОДИКИ ФУНКЦІОНАЛЬНО - ВАРТІСНОГО АНАЛІЗУ ДЛЯ ОПТИМІЗАЦІЇ ТЕХНІЧНИХ РІШЕНЬ”

з дисципліни
“Генеративний дизайн та оптимізація у виробничих
технологіях”

для практичних занять
студентів всіх форм навчання

за спеціальністю 131 Прикладна механіка

Тернопіль, 2023

Міністерство освіти і науки України
Тернопільський національний технічний університет
імені Івана Пулюя

Кафедра інжинірингу
машинобудівних технологій

МЕТОДИЧНІ ВКАЗІВКИ

до практичної роботи № 4

на тему:

**“ВИКОРИСТАННЯ МЕТОДИКИ ФУНКЦІОНАЛЬНО –
ВАРТІСНОГО АНАЛІЗУ ДЛЯ ОПТИМІЗАЦІЇ
ТЕХНІЧНИХ РІШЕНЬ”**

з дисципліни

**“Генеративний дизайн та оптимізація
у виробничих технологіях”**

для практичних занять
студентів всіх форм навчання
за спеціальністю 131 Прикладна механіка

Тернопіль 2023

Методичні вказівки розроблені відповідно до освітньо-професійної програми підготовки фахівців освітнього рівня магістр за спеціальністю 131 Прикладна механіка та з інших спеціальностей (за вибором дисципліни студентами).

Укладачі:

д.т.н., проф. Васильків В.В.
к.т.н., доц. Данильченко Л.М.
к.т.н., доц. Радик Д.Л.

Рецензент:

к.е.н., доц. Тетяна КУЖДА

Відповідальний за випуск

к.т.н., доц. Радик Д.Л.

Методичні вказівки розглянуті та схвалені на засіданні кафедри інжинірингу машинобудівних технологій.

Протокол № 9 від 19.04.2023 р.

Методичні вказівки рекомендовано до друку науково-методичною комісією ФМТ.

Протокол № 8 від 27.04.2023 р.

1. МЕТА РОБОТИ

Ознайомлення з теоретичними засадами та набуття практичних навиків оптимізації технічних об'єктів з використанням методики функціонально-вартісного аналізу (ФВА).

2. ЗАГАЛЬНІ ВІДОМОСТІ ПРО МЕТОДИКУ ФУНКЦІОНАЛЬНО-ВАРТІСНОГО АНАЛІЗУ

2.1. Методика функціонально-вартісного аналізу та методологія функціонально-вартісного проектування.

Будь-яка конструкція виконує своє функціональне призначення за допомогою елементів, які утворюють її структуру. Крім того, поряд із корисними об'єкт (конструкція) виконує, як правило, і зайві функції. А це значить, що в об'єкті є елементи, які виконують ці зайві, а також побічні, шкідливі, неочевидні або приховані функції, і те, що на виготовлення цих елементів були витрачені зайві кошти.

У процесі проектування виробничих систем, пошуку раціональних форм організації виробництва широко використовується методика функціонально-вартісного аналізу. Він поєднує різні методи оптимізації й вибору рішень на основі системного дослідження структури функцій об'єктів, зіставлення корисності й вартості їхньої реалізації. Ціль аналізу – забезпечення корисності системи при мінімально можливих сукупних витратах.

Методика функціонально-вартісного аналізу є прогресивним методом оптимізації технічної системи для зниження вартості будь-якого об'єкта, зокрема, і машинобудівних конструкцій та технологічних процесів у машинобудуванні. В умовах сучасного інтенсивного розвитку машинобудівної галузі спостерігається тенденція до зростання кількості додаткових функцій технічних об'єктів, підвищення їх складності.

Удосконалювання методів виробничої діяльності фахівців інженерної служби сприяє збільшенню частки критеріального вибору рішень замість вольових і випадкових.

У процесі розвитку ФВА були розроблені процедури не тільки аналізу, але й синтезу раціональних рішень. Зокрема методологію функціонально-вартісного проектування (ФВП) найчастіше використовують в інженерній діяльності.

ФВА й ФВП базуються на функціонально-структурному підході, при якому об'єкт або система розглядаються як сукупність виконуваних функцій. Далі ведуться пошуки кращого принципу реалізації функцій. При вдосконаленні технічних і виробничих систем функціональний підхід не обмежує уяву особи, що приймає рішення предметним втіленням функції й відкриває можливості для прийняття принципово нових ефективних рішень.

2.2. Формулювання завдання при предметному й функціональному підходах.

Формулювання завдання при предметному й функціональному підходах розглянемо на прикладі опису конструкції спеціального зенкера (рис. 1 а). На рисунках 1 б і 1 в показано ієрархічну структуру такого інструменту.

У цьому зв'язку сутність завдання *предметного підходу* полягає в удосконаленні технічного об'єкту, наприклад, у даному випадку зенкера, призначеного для обробки отворів. А основна мета *функціонального підходу* полягає у вдосконаленні процесу функціонування такого об'єкту. Наприклад, стосовно згаданого зенкера це видалення припуску в отворі оброблюваної заготовки.

У першому випадку область пошуку рішень обмежена конкретним інструментом, у другому - задається лише функція, яку варто вдосконалити, а не її конкретне втілення. Це дозволяє розглянути і нетрадиційні способи реалізації функції, наприклад, форми ріжучих пластин, способи їх кріплення тощо. Рішення приймається на основі співставлення корисності функції в тому або іншому виконанні (наприклад, продуктивності, якості) і витрат, необхідних на її реалізацію.

Таким чином, функціональний підхід дозволяє на етапі формування вихідних варіантів абстрагуватися від наявних рішень для того, щоб на етапі прийняття рішень вибрати найефективніший варіант.

При проведенні ФВА важливо чітко визначити й класифікувати функції системи. Зі значного переліку різновидів функцій виділяють лише найбільш істотні для проведення ФВА.

Функція - це форма прояву властивостей системи, що реалізується за допомогою перетворення за певних умов вхідних впливів у вихідні результати. Функцію легко сформулювати у вигляді відповіді на питання: «Що повинен робити об'єкт (елемент)?»

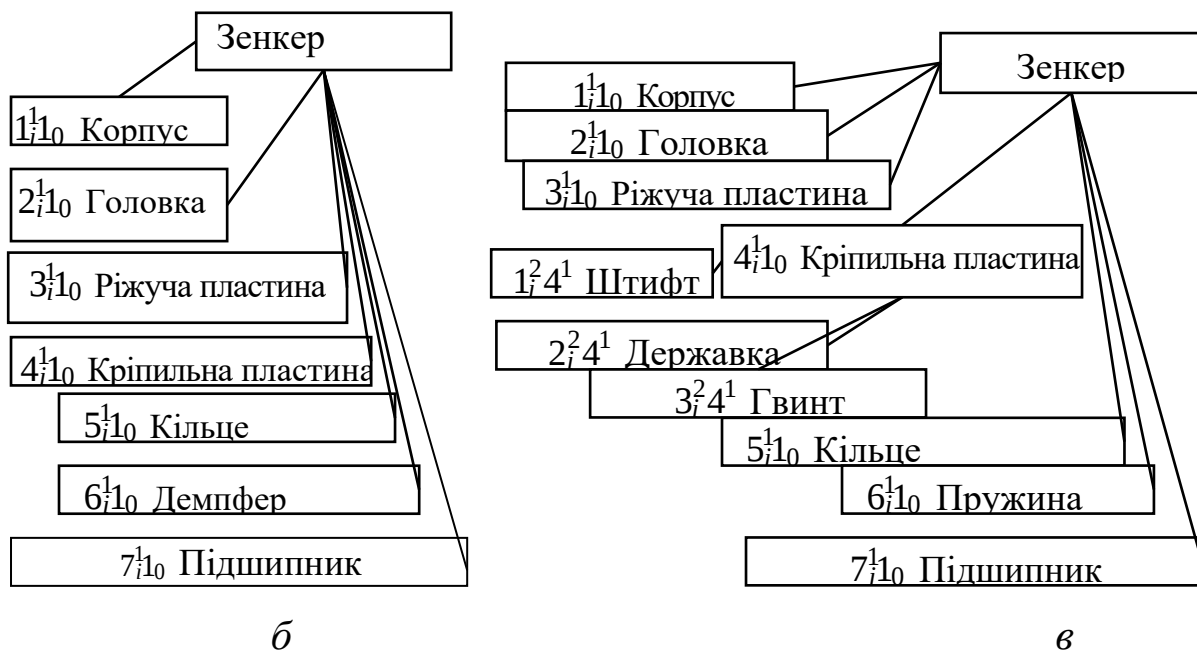
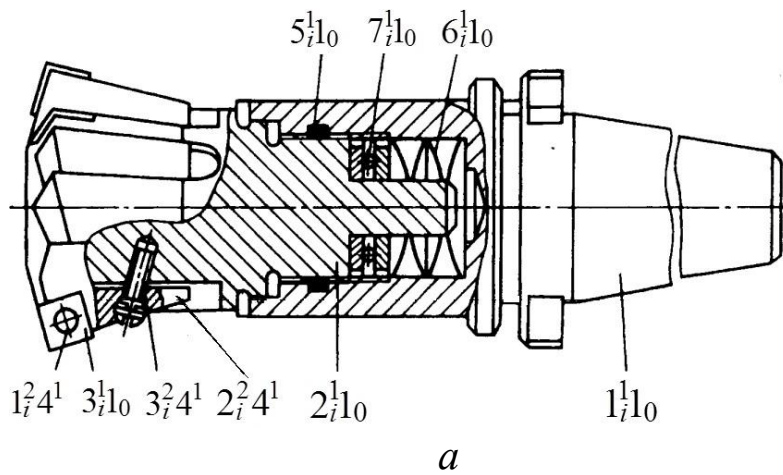


Рисунок 1 – Ієрархічна структура спеціального зенкера: *а* – схема конструкції *б* – структура на першому ієрархічному рівні; *в* – структура з деталізацією елементів які утворюють вузол кріпильної пластини.

Зовнішня функція реалізується системою (елементом) при взаємодії із зовнішнім середовищем, внутрішня - при взаємодії у середині системи.

Головна функція – це зовнішня функція, що відображає мету й призначення існування технічного об'єкту.

Основна функція – внутрішня функція, що забезпечує реалізацію споживчих якостей об'єкта, його функціональну придатність. Розрізняють основні функції прийому (введення), передачі, перетворення, зберігання, видачі речовини, енергії або інформації.

Допоміжна функція сприяє реалізації основних і також є внутрішньою.

З метою розробки конструктивно-функціональної структури введемо додаткові елементи зовнішніх систем з якими взаємодіють елементи зенкера: 2_0 – отвір заготовки; 3_0 – шпиндель.

Коди елементів структури та функції є такими (рис. 1 а): 1_0 - зенкер: $F1_1$ - видалення припуску в отворі 2_0 ; $1_{i1_0}^1$ - корпус з хвостовиком: $F1_1^1$ - базує зенкер 1_0 в шпинделі 3_0 , $F1_2^1$ - базує головку $2_{i1_0}^1$, $F1_3^1$ - передає крутний момент і осьову силу від шпинделя 1_0 до головки $2_{i1_0}^1$, $F1_4^1$ - розміщує кільце $5_{i1_0}^1$, $F1_5^1$ - забезпечує максимальний кут повороту головки $2_{i1_0}^1$; $2_{i1_0}^1$ - головка: $F2_1^1$ - передає крутний момент від корпусу $1_{i1_0}^1$ до різальної пластини $3_{i1_0}^1$, $F2_2^1$ - містить кріпильну частину $4_{i1_0}^1$, $F2_3^1$ - базує різальну частину $3_{i1_0}^1$, $F2_4^1$ - базує упорний підшипник $7_{i1_0}^1$, $F2_5^1$ - містить пружини $6_{i1_0}^1$, $F2_6^1$ - повертає різальну частину $3_{i1_0}^1$ на кут α . $3_{i1_0}^1$ - різальна пластина: $F3_1^1$ - видаляє припуск в отворі 2_0 , $F3_2^1$ - сприймає силу різання; $4_{i1_0}^1$ - кріпильна частина: $F4_1^1$ - закріплює різальні пластини $3_{i1_0}^1$ на головці $2_{i1_0}^1$; $1_{i2_0}^2$ - штифт: $F1_1^2$ - притискає різальну пластину $3_{i1_0}^1$ до державки $2_{i2_0}^2$; $2_{i2_0}^2$ - державка: $F2_1^2$ - містить штифт $1_{i2_0}^2$, $F2_2^2$ - містить гвинт $3_{i2_0}^2$, $F2_3^2$ - передає силу від гвинта $3_{i2_0}^2$ до штифта $1_{i2_0}^2$; $3_{i2_0}^2$ - гвинт: $F3_1^2$ - передає силу різання на державку, $F3_2^2$ - перешкоджає відкріпленню державки $2_{i2_0}^2$; $5_{i1_0}^1$ - кільце: $F5_1^1$ - фіксує головку $2_{i1_0}^1$; $6_{i1_0}^1$ - пружина: $F6_1^1$ - передає зусилля від корпусу $1_{i1_0}^1$ на підшипник $7_{i1_0}^1$; $7_{i1_0}^1$ - упорний підшипник: $F7_1^1$ - зменшує втрати на тертя при повороті головки $2_{i1_0}^1$, $F7_2^1$ - передає зусилля від пружини $6_{i1_0}^1$ до головки $2_{i1_0}^1$.

Для аналізу технічних або виробничих систем необхідно розрізняти корисні, надлишкові “зайві та шкідливі” функції. Це дуже важливо, тому що раціоналізація виробництва характеризується діями щодо оптимізації структури функцій і мінімізації витрат на їхню реалізацію. Крім того, необхідно вміти кількісно оцінити корисність системи й важливість окремих функцій.

Корисність характеризує споживчі якості системи, ступінь виконання нею свого функціонального призначення.

Для технічних об'єктів корисність це, насамперед, показники, що характеризують головну функцію (показники призначення). Спочатку доцільно дати значеннєве формулювання корисності системи, після чого обґрунтувати її кількісну характеристику.

Для багатьох технічних об'єктів корисність може бути визначена як експлуатаційна продуктивність при високій пристосованості до природно-виробничих умов.

Експлуатаційна продуктивність W_{ek} містить у собі показники надійності й технологічності. Її кількісне вираження не викликає

складнощів. Пристосованість до технологій і умов можна оцінити коефіцієнтом функціональних можливостей:

$$K_{\phi} = n_{\phi} / n_{n\phi},$$

де K_{ϕ} – коефіцієнт функціональних можливостей; n_{ϕ} – число зовнішніх елементарних функцій, які в стані виконати дана система; $n_{n\phi}$ – число потенційно необхідних елементарних функцій.

Коефіцієнт функціональних можливостей технічних об'єктів відображає рівень їхньої універсальності, адаптивності до технологій, схем організації виробничого процесу й оточуючих умов (показник гнучкості). Величина цього коефіцієнта впливає на річну зайнятість технічного об'єкту (річний виробіток). Тому узагальнений показник корисності технічних об'єктів P_A виражають так

$$P_A = f(W_{ek}, K_{\phi}).$$

Корисність технології описують через показники кінцевих результатів й коефіцієнт енергетичної ефективності.

Корисність має виражені системні властивості, тому що відображає суспільну потребу в конкретних умовах. Варто враховувати, що ті ж функції в одних умовах (зоні) можуть бути необхідні, в інших – зайві. Нестабільна й значимість окремих зовнішніх функцій. Однак вид узагальненого показника корисності для однотипних систем звичайно зберігається.

Сукупні витрати при проведенні ФВА враховують, як правило, всі етапи життєвого циклу системи (проектування, виготовлення, експлуатація, утилізація). Частка експлуатаційних витрат є найзначнішою й може перевищувати балансову вартість у десятки разів.

При проведенні ФВА важливо розмежувати показники корисності й витрат, вивести відповідні часткові й узагальнені критерії для наступного аналізу системи й ухвалення раціонального рішення. Таке розмежування має ряд переваг. По-перше, узагальнюючі критерії є однорідними; корисність відображає функціональні властивості, витрати – вартісні. По-друге, полегшується побудова узагальнюючих критеріїв, тому що й корисність, і витрати володіють адитивними властивостями (підсумуються).

Однак виникає проблема прийняття рішень по двох узагальнюючих критеріях. У зв'язку із цим мету ФВА можна описати двома способами: при заданій корисності системи мінімізувати сукупні витрати; при заданих сукупних витратах досягти максимуму корисності. При такому формулюванні мети один із критеріїв виступає як обмеження й завдання зводиться до однокритеріального типу.

2.3. Основні етапи ФВА.

Укрупнена блок-схема здійснення ФВА наведена на рис. 2.

Виділяють сім етапів проведення ФВА: підготовчий, інформаційний, аналітичний, творчий, дослідницький, рекомендаційний, впровадження.

Підготовчий етап включає вибір об'єкта аналізу, формування робочої групи ФВА, постановку загальних цілей аналізу.

Інформаційний етап складається з підготовки, систематизації й аналізу інформації, необхідної для досягнення загальних цілей ФВА. У цей період здійснюють формулювання корисності й витрат, розробляють дерево цілей ФВА, задають приватні й узагальнені критерії й процедури прийняття рішень.

Аналітичний етап передбачає проведення структурного й функціонального аналізу, побудову структурної (СМ) і функціональної (ФМ) моделей системи або об'єднаної (ОФМ). За результатами функціонального аналізу виявляють відсутні й зайві функції, неузгодженість їхніх характеристик, наприклад, продуктивності окремих ланок технологічного процесу. Проводять аналіз витрат на виконання окремих функцій, будують функціонально-вартісні діаграми (ФВД), виявляють невідповідність між значимістю функції й витратами на її реалізацію. На цьому етапі формулюють завдання усунення протиріч і невідповідностей.

Творчий етап спрямований на пошук ефективних рішень, що дозволяють усунути виявлені протиріччя й невідповідності. На цьому етапі використовуються методи активізації творчого процесу для знаходження можливих варіантів вирішення поставлених завдань, формується вихідна множина альтернатив (ВМА) для вибору найкращої з них. Тут можливе використання оптимізаційних методів, а також поєднання різних методів прийняття рішень.

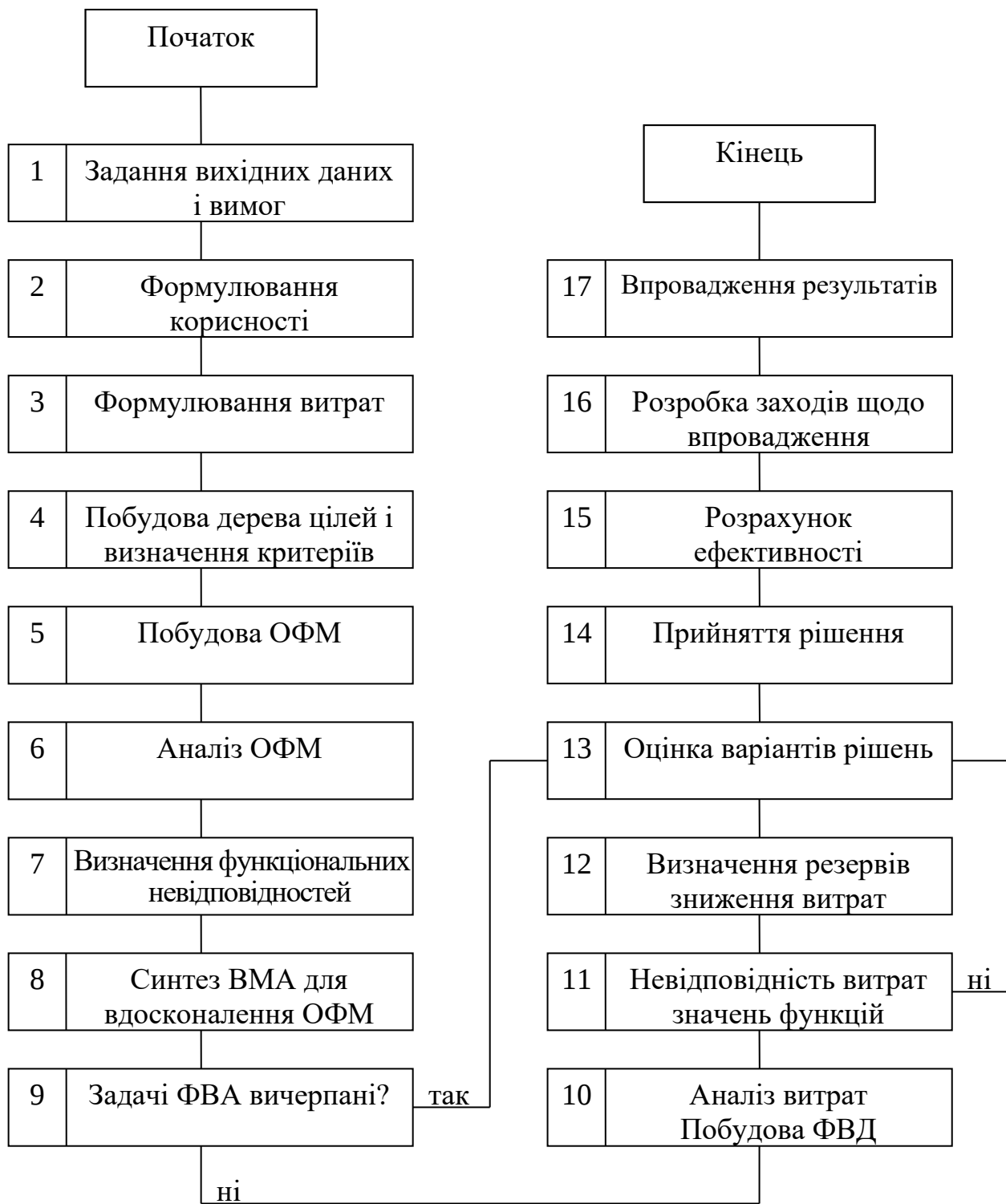


Рисунок 2 – Укрупнена блок-схема здійснення ФВА.

Дослідницький етап передбачає всебічну оцінку ВМА або одного варіанта за частковими і узагальненими критеріями, а також їх відповідності визначеним вимогам і обмеженням.

На цьому етапі здійснюється ухвалення рішення й розрахунок ефекту від впровадження.

Рекомендаційний етап включає розробку заходів для реалізації ухвалених рішень із визначенням виконавців і термінів, а також для стимулювання робіт.

Етап впровадження – це безпосередня реалізація рекомендацій ФВА відповідно до розроблених планів.

Специфічною процедурою ФВА є побудова функціонально-вартісних діаграм (ФВД), які дозволяють визначити ступінь відповідності між корисністю або значимістю функцій (рангом функції) і складністю реалізації функції, наприклад, витратами на таку реалізацію (рис. 3).

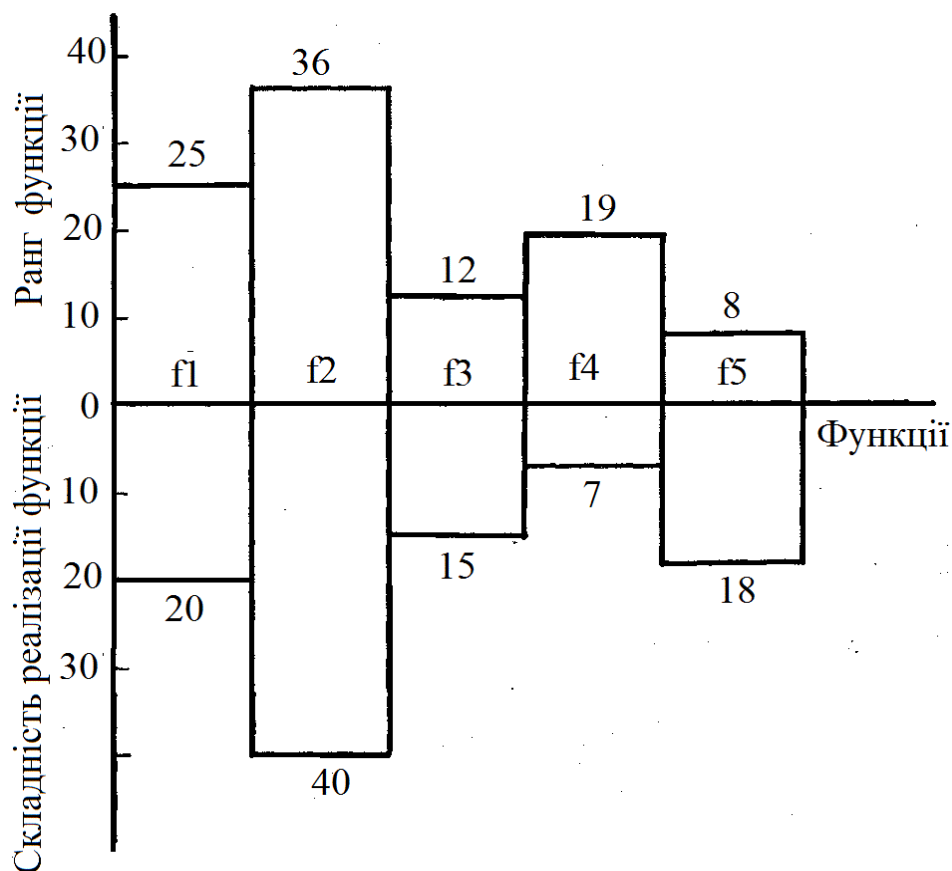


Рисунок 3 – Функціонально-вартісна діаграма

Для зовнішніх функцій оцінюється корисність, а для внутрішніх - значимість, тобто роль функцій нижче вказаного рівня функціональної моделі в реалізації функцій вищевказаного рівня. Кількісно значимість функції може бути виражена в балах або відносних одиницях. При цьому сума балів по всіх функціях приймається рівної 100, а при оцінці у відносних одиницях - 1.

Відносні витрати визначають за формулою

$$S_i = (C_i / C_0) \cdot 100 \text{ або } S_i = C_i / C_0 ,$$

де S_i – відносні витрати; C_i – витрати на реалізацію i -ої функції; C_0 – загальні витрати.

При побудові ФВД зовнішніх функцій корисність і витрати можуть бути виражені як у відносних, так і в абсолютних одиницях.

Оцінка витрат на одиницю корисності дозволяє розраховувати їїню величину й виявляти зони з нераціональним співвідношенням S_i/P_i . Такими вважаються функції, для яких $S_i/P_i > 1$ при оцінці корисності й витрат у відносних одиницях.

Виявлені невідповідності в структурі функцій, а також між корисністю й витратами дозволяють конкретизувати завдання творчого етапу ФВА.

Ретельне проведення аналітичного етапу ФВА дозволяє виявити й оцінити резерви удосконалення виробництва, які в сфері машинобудування мають значний потенціал.

3. ПРИКЛАД ЗАСТОСУВАННЯ МЕТОДИКИ ФУНКЦІОНАЛЬНО-ВАРТІСНОГО АНАЛІЗУ ДЛЯ ДОСЛІДЖЕННЯ КОНСТРУКЦІЇ ЗАКУПОРЮВАЛЬНОГО ЗАСОБУ ДЛЯ ДОЗОВАНОГО АЕРОЗОЛЮ.

Схема конструкції закупорювального засобу для дозованого аерозолю представлена на рисунку 4.

Етапи застосування ФВА для дослідження такої конструкції подані на рис. 5.

Декомпозиція функцій, які виконуються розгляданням об'єктом, представлено на рисунку 6.

Службова функція згаданого виробу представлена як дерево простих технологічних функцій. Декомпозиція зводиться до отримання простих елементарних функцій. Для опису функціональної структури виробу використовуються тільки прості - елементарні функції останнього рівня декомпозиції.

Перехід від функціонального опису виробу до його елементарної структури є найменш формалізованим етапом. Цей перехід ускладнюється тим, що кожній функціональній структурі виробу відповідатиме багато варіантів елементної структури виробу, оскільки можливі різні співвідношення між простими функціями та елементами, які їх реалізують. Побудуємо функціонально-елементну модель досліджуваного об'єкта. Для цього проаналізуємо спочатку елементний склад закупорювального засобу флакону з дозованим аерозолем. Кодифікацію елементів за рівнями моделі представимо у вигляді табл. 1.

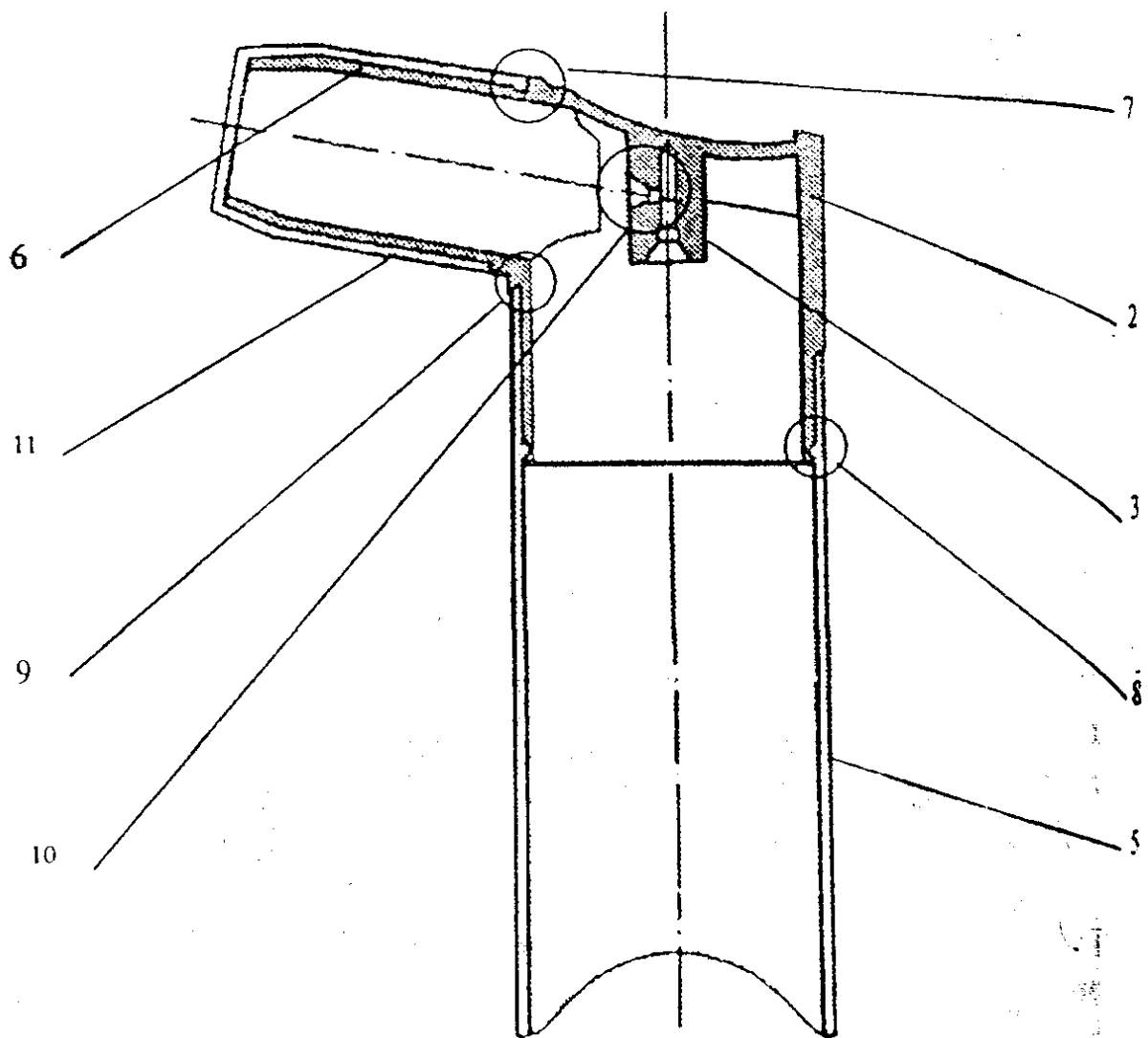


Рисунок 4 - Схема закупорювального засобу для дозованого аерозолю: 1 – ковпачок; 2 – корпус кришки; 3 – розпилювач; 4 – сопло розпилювача; 5 - напрямний кожух; 6 – направляюча потоку; 7 – фіксатор №1; 8 – фіксатор №2; 9 – фіксатор №3.



Рисунок 5 – Методика застосування ФВА при моделюванні закупорювального засобу

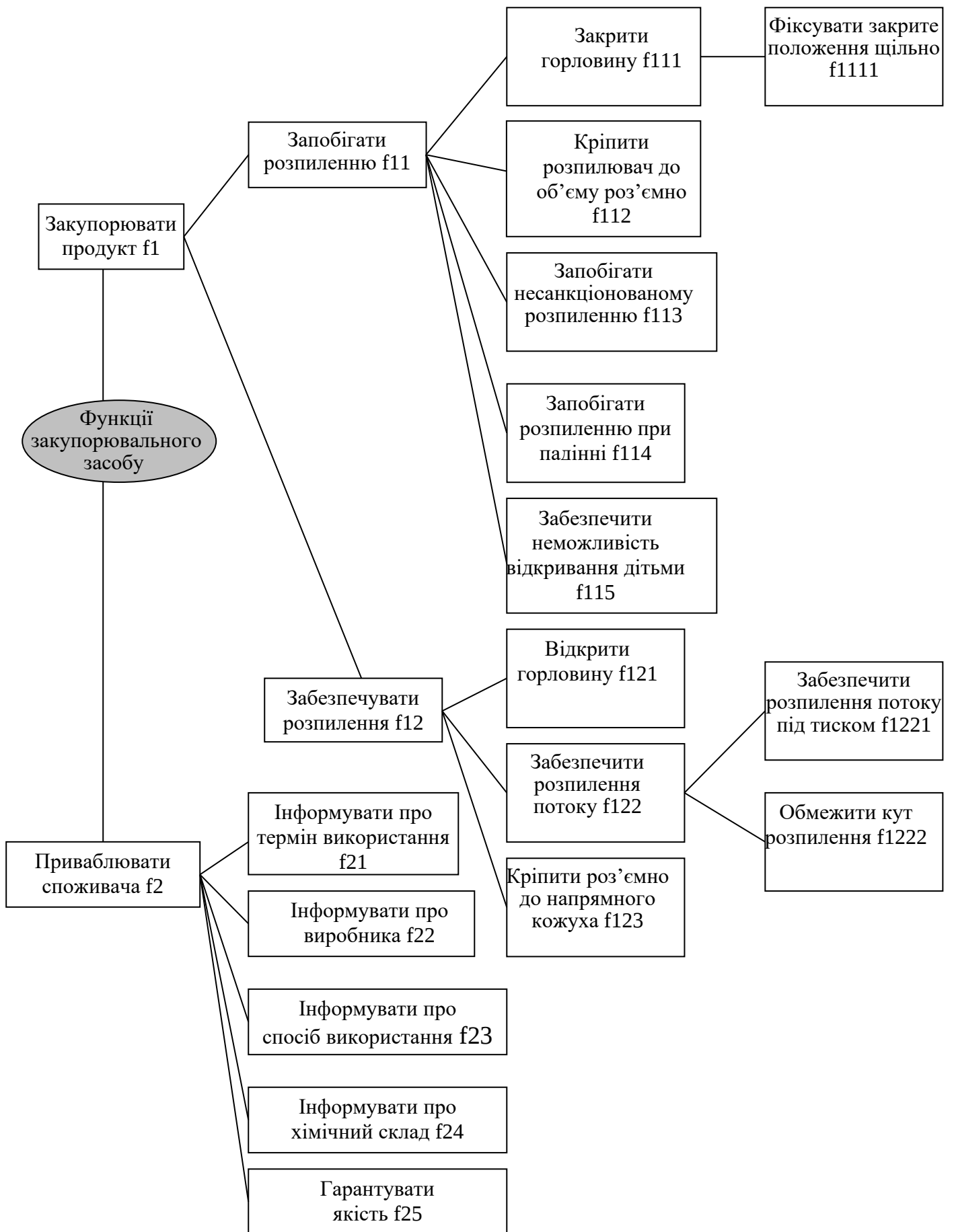


Рисунок 6 – Функціональна структура закупорювального засобу для дозованого аерозолію

Таблиця 1 – Кодифікація елементів закупорювального засобу флакону з дозованим аерозолем.

Кодифікація елементів за рівнями ієрархії моделі				Назва елемента
I	II	III	IV	
Закупорювальний засіб	E1 (ковпачок)	E11		Корпус
			E111	Фіксатори
	E2 (кришка з розпилювачем)	E21		Корпус
			E211	Канавка
			E212	Заглиблення в верхній частині корпусу
			E213	Фіксатор 2
			E214	Фіксатор 3
		E22		Розпилювач
			E221	Сопло розпилювача
			E222	Направляюча потоку
	E3			Напрямний кожух
	E4			Фірмовий рельєф

Функціонально-елементну схему досліджуваного об'єкта опишемо у вигляді табл. 2.

Таблиця 2 – Функціонально-елементна модель закупорювального засобу флакону з дозованим аерозолем.

Елементи Функції	E11	E11	E21	E211	E212	E213	E214	E22	E221	E222	E3	E4
f111		1		1				1				
f112												
f113	1		1									
f114	1		1								1	
f115		1		1								
f121	1											
f1221					1				1			
f1222										1		
f123						1	1					
f21											1	
f22											1	1
f23											1	
f24											1	
f25											1	1
Коефіцієнт функціональності елемента	3	2	2	2	1	1	1	1	1	1	6	2

Під час розгляду закупорювальних засобів з точки зору багатофункціональності вирішуються питання: "Які функції бажати суттєвими? Які методи застосовні для визначення ступеня важливості кожної функції досліджуваного об'єкта?" Тут з успіхом можна застосовувати відомі формалізовані методи, які дають змогу достатньо об'єктивно відібрати суттєві функції. Вони ґрунтуються на опитуванні фахівців та статистичній обробці результатів з наступним визначенням коефіцієнта конкордації та побудовою діаграми рангів функцій за ступенем суттєвості.

Кодифікація функцій, які повинен виконувати закупорювальний засіб для флакону з дозованим аерозолем наведена в табл. 3. Такий перелік був представлений для перегляду шістьом експертам з пропозицією розташувати функції в порядку зменшення ступеня їх важливості. Результати опитування експертів за пропозицією розташувати функції в порядку важливості зведені в табл. 4, де зазначено місце кожної функції.

Таблиця 3 – Кодифікація функцій, які повинен виконувати закупорювальний засіб флакону з дозованим аерозолем

Функція	Позначення
Щільна фіксація закритого стану	f1111
Роз'ємне кріплення розпилювача до об'єму	f112
Запобігання несанкціонованому розпиленню	f113
Запобігання розпиленню при падінні	f114
Забезпечення неможливості відкривання дітьми	f115
Відкривання направляючої потоку	f121
Забезпечення розпилення потоку під тиском	f1221
Обмеження кута розпилення	f1222
Роз'ємне кріплення до направляючої тиску	f123
Інформування про термін використання	f21
Інформування про виробника	f22
Інформування про спосіб використання	f23
Інформування про хімічний склад	f24
Гарантування якості	f25

Таблиця 4 – Результати опитування фахівців.

Функції Експерти	f1111	f112	f113	f114	f115	f121	f1221	f1222	f123	f21	f22	f23	f24	f25
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14
1	4	7	3	6	8	5	1	14	2	13	12	11	10	9
2	3	5	2	6	13	4	1	14	7	9	10	12	8	11
3	2	13	3	11	6	5	1	13	4	9	10	8	12	7
4	7	12	5	8	4	11	1	13	2	10	9	6	14	3
5	10	3	1	4	11	7	2	12	5	9	13	8	14	6
6	6	8	3	7	4	5	1	9	2	10	13	11	14	12
Сума t_i	32	48	17	42	46	37	7	75	22	60	67	56	72	48
Середня сума рангів T	629/14=44,93													
Відхилення t_j	-12,93	3,07	-27,93	-2,93	1,07	7,93	-37,93	30,07	-22,93	15,07	22,07	11,07	27,07	3,07
Квадратичне відхилення t_j^2	167,185	9,425	780,085	8,585	2,89	62,885	1438,685	904,205	525,105	227,105	487,085	122,545	732,785	9,425

Для кожної функції розраховують суму балів:

$$t_j = \sum_{i=1}^m a_{ji}$$

де m – кількість експертів.

Далі визначають середню суму рангів:

$$T = \frac{1}{n} \sum_{j=1}^n t_j,$$

а також їх різницю:

$$\Delta_j = t_j - T,$$

де n – кількість функцій.

Ступінь узгодженості думок фахівців визначають коефіцієнтом конкордації (concordance coefficient):

$$W = \frac{12 \cdot S}{m^2 \cdot (n^3 - n)},$$

де S – сума квадратів відхилення рангів кожного фактора від середнього рангу.

$$S = \sum_{j=1}^n \Delta_j^2,$$

Коефіцієнт конкордації - це безрозмірна величина, що показує відношення в загальному випадку дисперсії до максимальної дисперсії.

Коефіцієнт конкордації змінюється в межах від 0 до 1. При величині даного коефіцієнта менше 0,3 думки експертів вважаються неузгодженими. Причини тут можуть бути різні: або в досліджуваній сукупності експертів справді немає спільності поглядів, або серед сукупності експертів існують групи з великою узгодженістю поглядів, однак їхні узагальнені думки протилежні.

При знаходженні величини коефіцієнта в діапазоні від 0,3 до 0,7 узгодженість вважається середньою. При величині більше 0,7 узгодженість приймається як висока. Якщо $W=0$, то узгодженість думок фахівців відсутня, якщо ж $W \approx 1$, то всі фахівці притримуються однакової думки. Загалом, чим більше значення коефіцієнта конкордації, тим вище ступінь узгодженості думок експертів.

В проміжних випадках статистичну істотність (довірчу імовірність) коефіцієнта конкордації, тобто узгодженість думок фахівців перевіряють за критерієм Пірсона.

Статистичний χ^2 - критерій Пірсона розраховують за формулою:

$$\chi^2 = m \cdot (n-1) \cdot W;$$

Розраховане значення співставляють з табличним $\chi_{табл}^2$ (див. табл. 5) для різних значень довірчої ймовірності (здебільшого $P(\chi^2)=0,05$, $P(\chi^2)=0,95$ чи $P(\chi^2)=0,99$) і кількості степенів вільності $f = (n-1)$.

Якщо виконується умова $\chi^2 > \chi_{табл}^2$, то коефіцієнт конкордації є істотний, а думки фахівців вважаються достатньо узгодженими; якщо навпаки то необхідно збільшити кількість експертів.

Таблиця 5 - Табличне значення $\chi^2_{табл}$ - критерія узгодженості Пірсона.

Кількість ступенів вільності (свободи) f	Рівень значимості					
	0.01	0,025	0,05	0.95	0.975	0.99
1	6.6	5.0	3,8	0.0039	0.00098	0.00016
2	9.2	7.4	6.0	0.103	0.051	0.020
3	11.3	9.4	7.8	0.352	0.216	0.115
4	13.3	11.1	9,5	0.711	0.484	0,297
5	15,1	12.8	11.1	1,15	0.831	0.554
6	16.8	14.4	12,6	1.64	1.24	0.872
7	18.5	16.0	14.1	2,17	1.69	1,24
8	20,1	17,5	15,5	2,73	2,18	1.65
9	21,7	19.0	16.9	3,33	2,70	2.09
10	23,2	20.5	18.3	3.94	3.25	2.56
11	24,7	21.9	19.7	4,57	3,82	3,05
12	26.2	23.3	21.0	5.23	4.40	3,57
13	27.7	24.7	22.4	5.89	5.01	4,11
14	29,1	26.1	23,7	6,57	5,63	4.66
15	30.6	27,5	25,0	7,26	6.26	5.23
16	32,0	28.8	26,3	7.96	6.91	5.81
17	33.4	30.2	27.6	8.67	7.56	6.41
18	34.8	31.5	28,9	9.39	8.23	7.01
19	36.2	32,9	30.1	10.1	8.91	7.63
20	37,6	34,2	31.4	10.9	9.59	8,26
21	38.9	35,5	32,7	П.6	10.3	8.90
22	40.3	36.8	33.9	12.3	11.0	9.54
23	41.6	38.1	35,2	13.1	11,7	10.2
24	43,0	39.4	36.4	13.8	12,4	10.9
25	44.3	40.6	37,7	14.6	13.1	11.5
26	45,6	41.9	38.9	15,4	13.8	12,2
27	47.0	43,2	40.1	16.2	14.6	12.9
28	48.3	44.5	41.3	16.9	15.3	13.6
29	49.6	45,7	42.6	17,7	16.0	14.3
30	50.9	47.0	43.8	18.5	16.8	15.0

Далі будують діаграму рангів, по вертикальній осі якої відкладають або суму рангів кожного фактору або різницю з максимальною сумою рангів, а по горизонтальній осі - номери факторів.

Для даного прикладу визначимо величину суми квадратів відхилень сумарних рангів кожного фактора від середнього рангу:

$$S = \sum_{j=1}^n \Delta_j^2 = 167,185 + 9,425 + 780,085 + 8,585 + 2,89 + 62,885 + \\ + 1438,685 + 904,205 + 525,785 + 227,105 + 487,085 + 122,545 + \\ + 732,785 + 9,425 = 5478,675$$

Тоді значення коефіцієнта конкордації:

$$W = \frac{12 \cdot 5478,675}{6^2 \cdot (14^3 - 14)} = 0,6689.$$

Значення статистичного критерію Пірсона:

$$\chi^2 = m \cdot (n-1) \cdot W = 6 \cdot (14-1) \cdot 0,6689 = 52,17$$

За табл. 5 значень $\chi_{табл}^2$ для $P(\chi^2) = 0,05$ та числа степенів вільності

$$f = (n-1) = (14-1) = 13$$

визначаємо величину $\chi_{табл}^2 = 22,4$. Оскільки $\chi^2 > \chi_{табл}^2$, то думки фахівців є достатньо узгодженими.

Побудуємо за даними таблиці 4 діаграму рангів функцій, які є найсуттєвішими для закупорювального засобу для флакону з дозованим аерозолем (рис. 7).

Проаналізувавши розташування нижньої частини діаграми рангів відносно спроектованої в четвертий квадрант апроксимаційної кривої, можна зробити наступні висновки:

– функцію f1222 можна вважати такою, що не впливає на результати дослідження, однак, слід розглянути можливі шляхи спрощення її реалізації або, взагалі, делегувати виконання цієї функції іншому елементу;

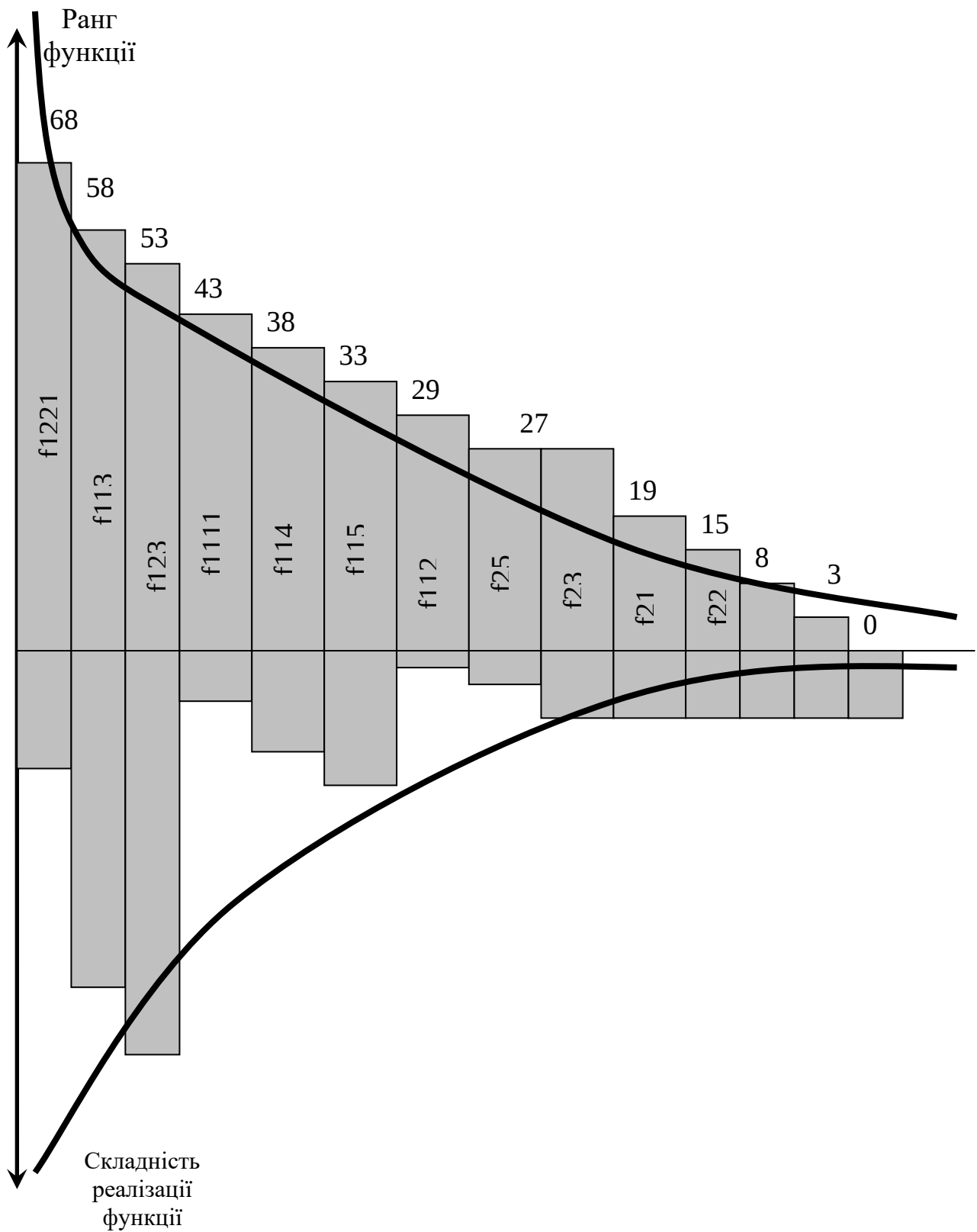


Рисунок 7 – Діаграма рангів функцій.

- реалізація функцій f21, f22, f24 є непропорційно складною;
- слід також звернути увагу на реалізацію функції f123.

Таким чином, розглядуваний закупорювальний засіб є достатньо функціональним.

Це дозволяє визначити коефіцієнт функціональних можливостей досліджуваного закупорювального засобу на основі інформації про загальну кількість елементарних функцій (14) та кількість спеціальних елементарних функцій (7).

Для розглядуваного прикладу даний коефіцієнт становить

$$K_{\phi} = \frac{7}{14} = 0,5$$

Збільшення значення запропонованого коефіцієнта повинно бути виправданим сферою застосування досліджуваного об'єкта.

Наприклад, закупорювальні засоби для фармацевтичних рідин повинні мати більші значення такого коефіцієнта спеціалізації.

Для даного прикладу можна запропонувати шляхи вдосконалення (рис. 8) такого технічного об'єкту.

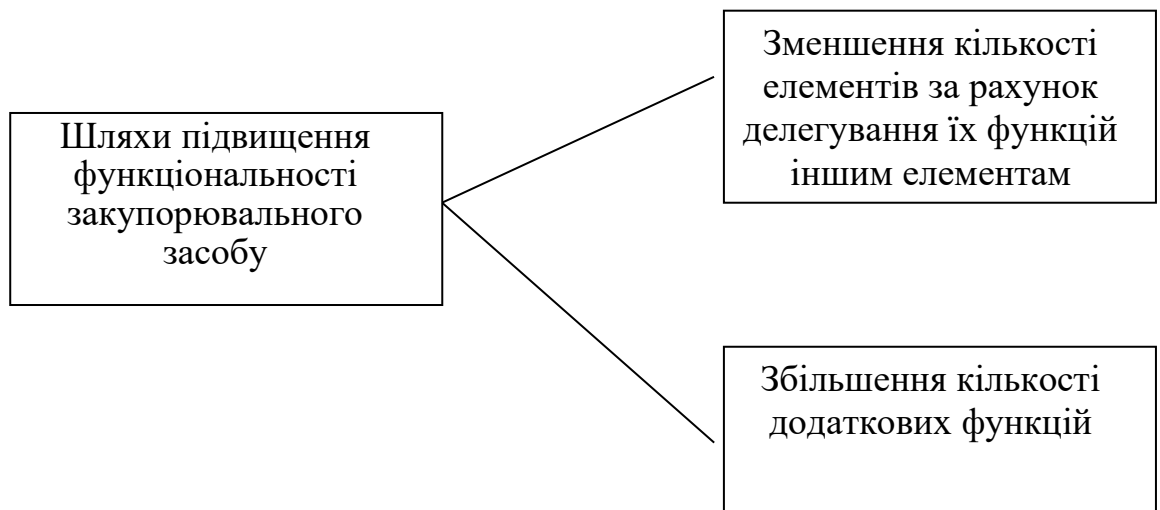


Рисунок 8 – Шляхи підвищення функціональності закупорювального засобу.

Найсуттєвіші тенденції розвитку закупорювальних засобів наступні:

- ускладнення елементного складу з метою покращення дозування;
- збільшення кількості додаткових функцій з метою гарантування якості та захисту від підробок;
- збільшення виконуваних функцій та ускладнення елементної структури з метою покращення дозування, захисту від підробок, недоступності відкриття для дітей, розширення умов застосування відповідно.

Таким чином, методика ФВА дозволяє не тільки модернізувати існуючий досліджуваний об'єкт, враховуючи вищезгадані шляхи підвищення функціональності, але й розробляти нові конструкції, враховуючи побажання замовника.

4. ПОРЯДОК ПРОВЕДЕННЯ РОБОТИ.

4.1. Отримати варіант завдання на практичну роботу. Завдання містить креслення виробу чи схему реалізації процесу отримання деталі.

4.2. Розробити функціональну структуру такого технічного об'єкту, провести її аналіз та декомпозицію основних функцій.

4.3. Виконати синтез технічної структури та кодифікацію елементів такого технічного об'єкту.

4.4. Розробити функціонально-елементну схему.

4.5. Виконати кодифікацію функцій досліджуваного об'єкту.

4.6. Провести опитування фахівців, в ролі яких можуть бути одногрупники.

4.7. Здійснити статистичну обробку отриманих даних: розрахувати середню суму рангів, коефіцієнти конкордації, критерій Пірсона.

4.8. Побудувати діаграму рангів функцій та провести її аналіз.

4.9. Зробити висновок по практичній роботі, в якому описати шляхи підвищення функціональності технічного об'єкту.

4.10. Файл звіту необхідно надіслати у скриньку звітності щодо виконання практичної роботи з дисципліни “Генеративний дизайн та оптимізація у виробничих технологіях” (ID 4580). Надіслану роботу буде перевірено на плагіат.

5. ЗАВДАННЯ НА ПРАКТИЧНУ РОБОТУ.

Варіанти індивідуальних завдань подані на рисунках 9 - 13.

Завданням для практичної роботи також можуть бути вихідні матеріали для виконання студентом курсового та дипломного проектування, практичні задачі з виробництва згідно замовлень стейкхолдерів та ін. В окремих випадках, згідно індивідуального завдання викладача, практична робота може мати пошуковий, дослідницький характер та не виконуватись за жорстким описом (сценарієм).

1 – повітряно-підвідна муфта; 2 – запобіжний пристрій; 3 – корпус;
4 – поршень зі штоком; 5 – кришка.

Technical drawing of a lathe tool post assembly in cross-section. The drawing shows a tool post (1) with a 60-degree angle, mounted on a lathe tool holder (2). The tool post contains a tool (3) with a cutting edge (4). The tool is secured by a clamping screw (5) and a clamping nut (6). The tool post is also secured by a clamping screw (7) and a clamping nut (8). The tool post is mounted on a lathe tool holder (9). The drawing is labeled "Конус Морзе" (Morse Taper) at the bottom right.

24

Варіант 3

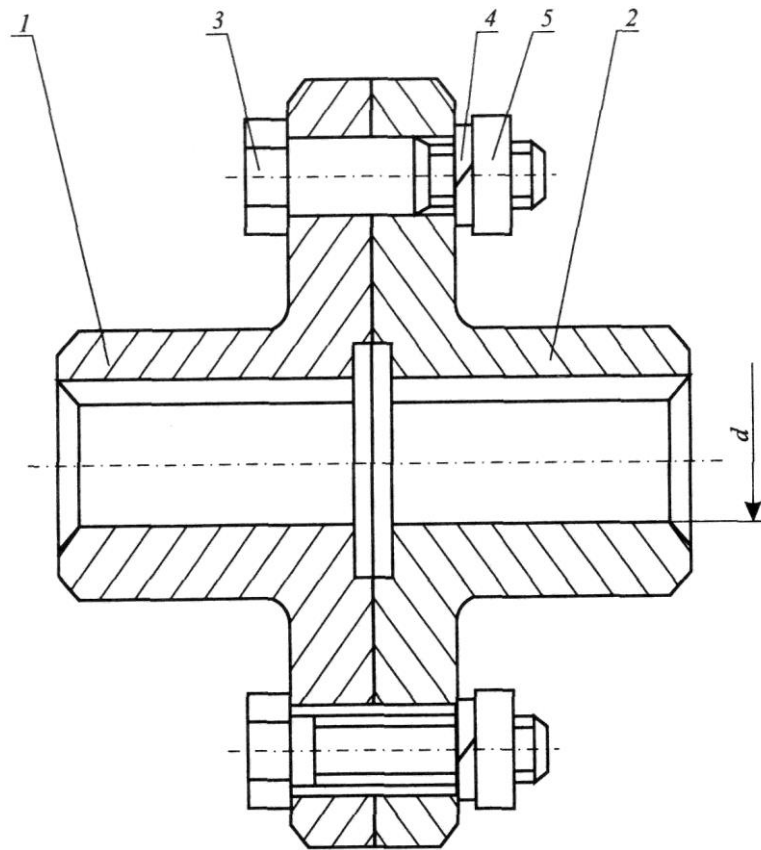


Рисунок 11 – Муфта фланцева: 1 – півмуфта ліва; 2 – півмуфта права; 3 – болт; 4 – шайба пружинна; 5 – гайка.

Варіант 4

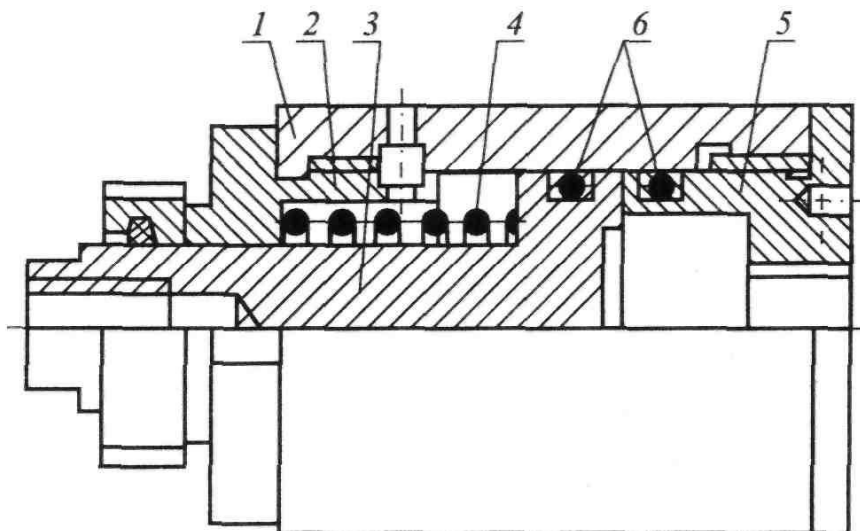


Рисунок 12 – Гідроциліндр однобічної дії з суцільним штоком: 1 – корпус; 2 – кришка передня; 3 – поршень; 4 – пружина; 5 – кришка задня; 6 – кільце гумове (2 шт.).

Варіант 5

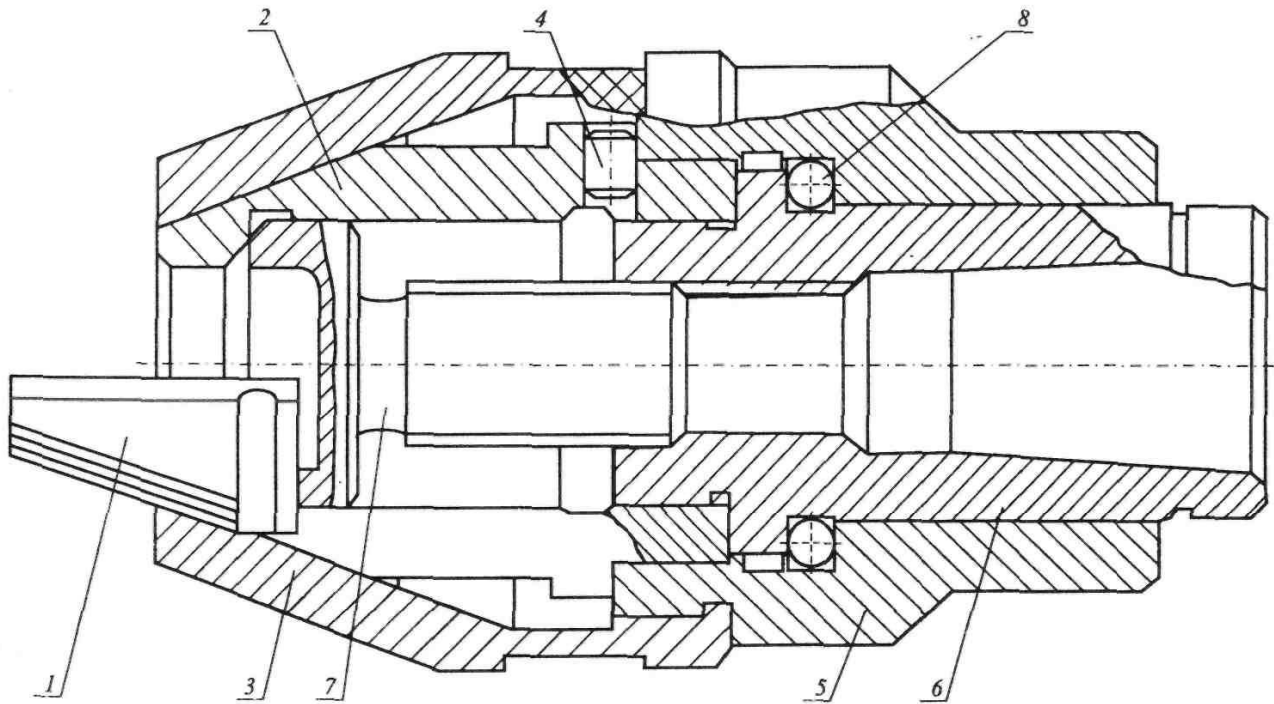


Рисунок 13 – Патрон свердлильний безключовий: 1 – кулачки (3 шт.); 2 – обойма; 3 – гайка; 4 – штифт; 5 – втулка; 6 – корпус; 7 – головка з лівою різьбою; 8 – кульки.

Варіант 6

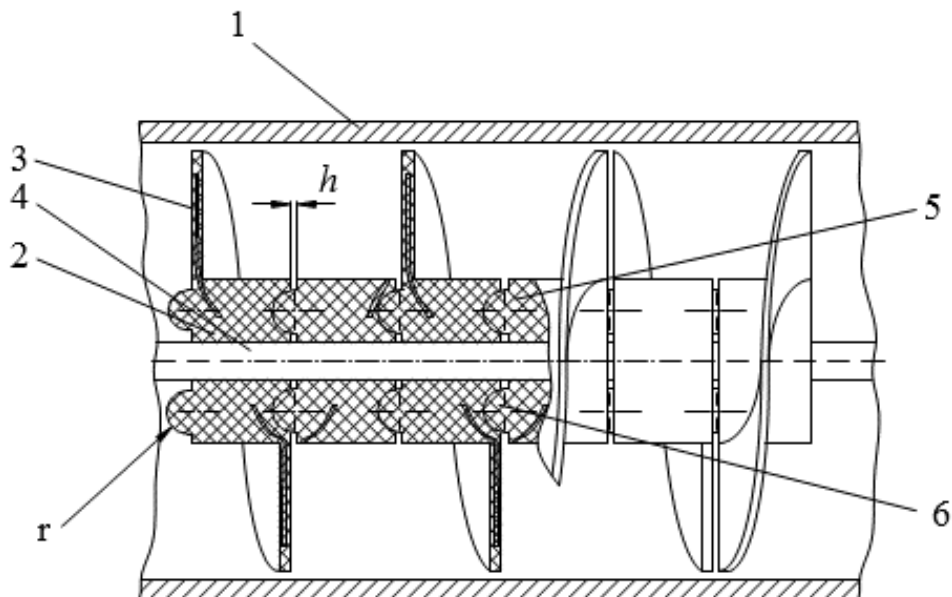


Рисунок 14 – Фрагмент робочого органу гнучкого гвинтового конвеєра: 1 – гнучкий кожух, 2, 5 – гвинтові пластмасові секційні шнеки, 3 – армована гвинтова спіраль, 6 – пластмасові кульки радіусом r , 4 – трос.

Варіант 7

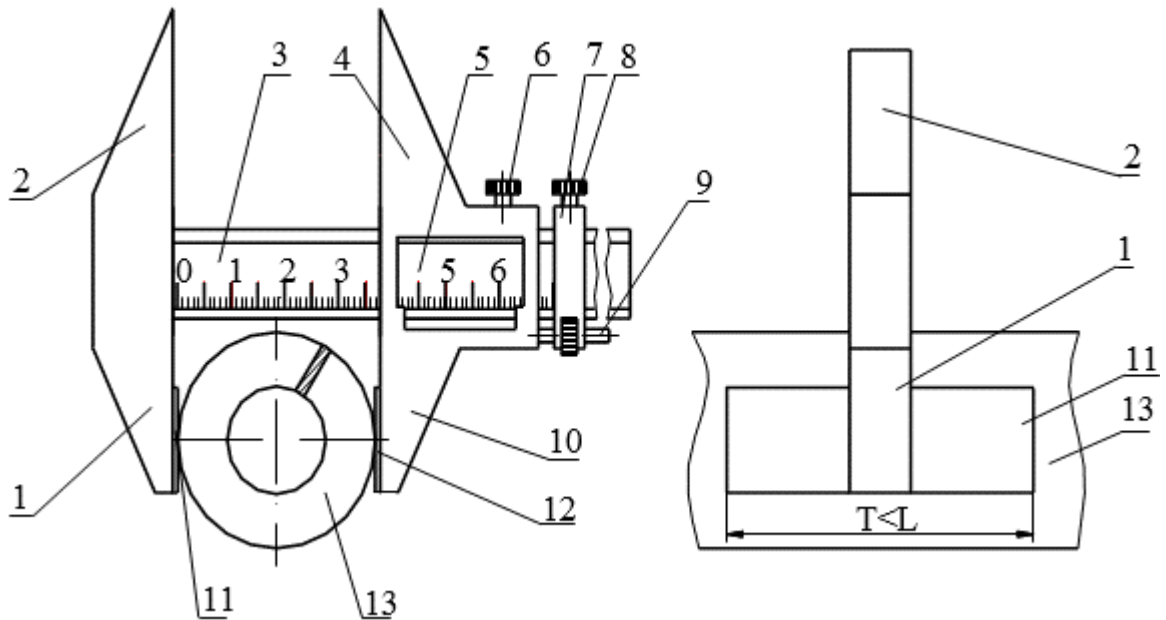


Рисунок 15 – Штангеншнекомір: 1, 2 – нерухома нижня і рухома верхня губки, 3 – штанга, 4 – рухома рамка, 5 – ноніус, 6 – стопорний гвинт, 7 – хомут, 8 – стопорний гвинт, 9 – мікрометричний гвинт, 10 – верхня і нижня губки, 11, 12 – пластини, 13 – витки гвинтової спіралі.

Варіант 8

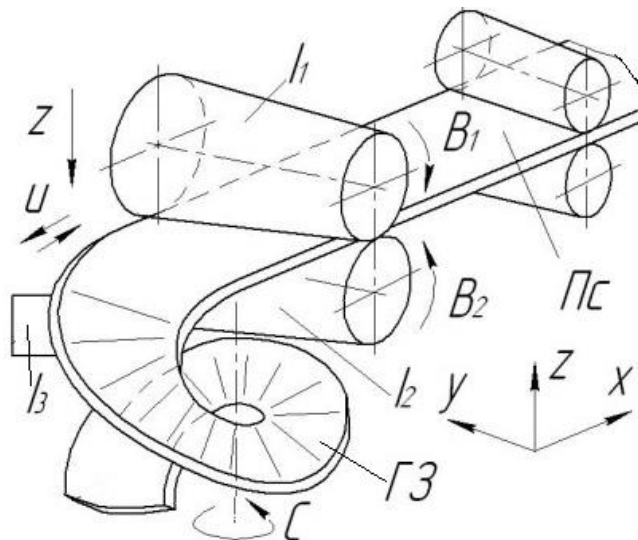


Рисунок 16 – Виготовлення гвинтової заготовки способом асиметричного обтискання смугової заготовки: $ГЗ$ – гвинтова заготовка, $Пс$ – смугова заготовка, I_1 , I_2 , I_3 – відповідно прокатні валки та клин для відгинання $ГЗ$.

Варіант 9

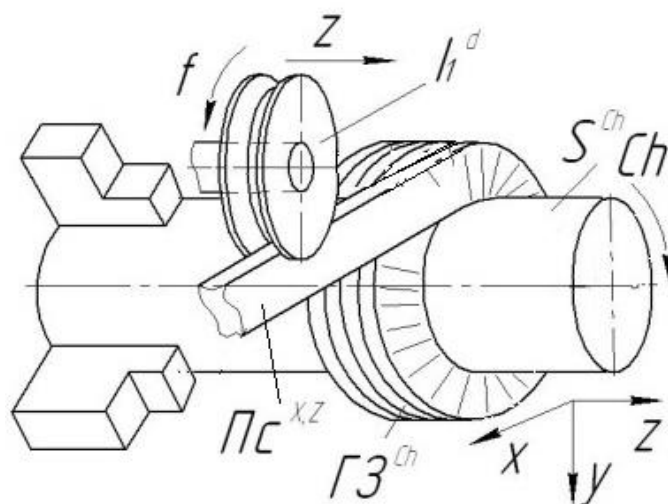


Рисунок 17 – Виготовлення гвинтової заготовки способом навивання смугової заготовки ребром на оправу: ГЗ – гвинтова заготовка, Пс – смугова заготовка, I_1 – згинний ролик.

Варіант 10

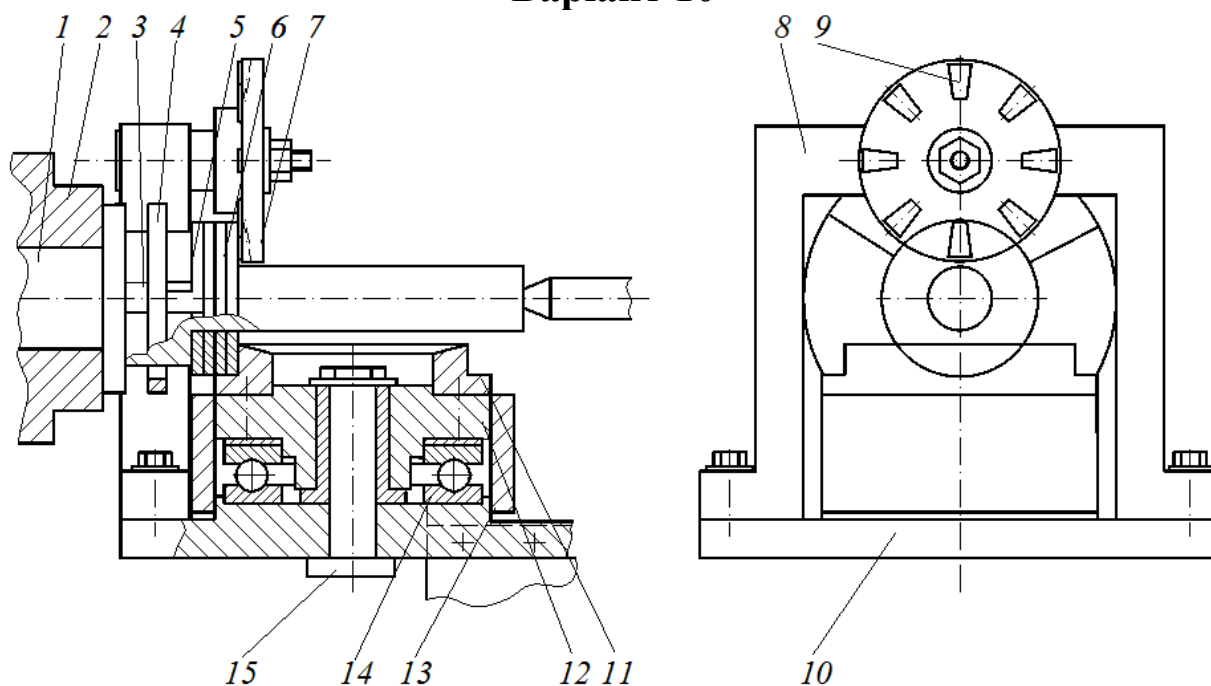


Рисунок 17 – Пристрій для виготовлення гвинтової заготовки способом навивання смугової заготовки ребром на оправу: 1 – ступінчаста циліндрична оправу, 2 – патрон токарного верстату, 3 – осьовий паз на більшій ступені оправу, 4 – втулка, 5 – торець оправу, виконаний один гвинтовий виток з кроком, що дорівнює товщині спіралі, 6 – зігнутий кінець стрічки, 7 – обтискний ролик, 8 – кронштейн, 9 – конічні ролики, 10 – механізм подачі верстату, 11 – формотворний ролик, 12 – корпус, 13 – кожух, 14 – упорний підшипник, 15 – вісь.

6. СТРУКТУРА ЗВІТУ.

1. Тема і мета практичної роботи.
2. Схема технічного об'єкту згідно індивідуального варіанту.
3. Опис послідовності проведення ФВА, виконаного за аналогією із прикладом, наведеним у розділі 3.
4. Висновок, що містить опис шляхів підвищення функціональності технічного об'єкту.
5. Список використаної літератури та інформаційних джерел.

7. КОНТРОЛЬНІ ЗАПИТАННЯ.

1. Навести визначення функціонально-вартісного аналізу.
2. Як здійснюється кодифікація елементів технічного об'єкту?
3. Які питання вирішуються за допомогою ФВА?
4. Навести означення коефіцієнту конкордації?
5. В яких випадках узгодженість думок фахівців досліджують за допомогою статистичного критерію Персона?
6. Як визначається статистичний критерій Персона?
7. Що таке коефіцієнт спеціалізації досліджуваного технічного об'єкту?
8. Як будують діаграму рангів функцій?
9. У чому сутність ФВА як технології обґрунтування інженерних рішень?

8. ПЕРЕЛІК ЛІТЕРАТУРНИХ ДЖЕРЕЛ ТА ІНФОРМАЦІЙНИХ РЕСУРСІВ.

1. Бучинський, М.Я., Горик, О.В., Чернявський, А.М., Яхін, С.В. Основи творення машин / [За редакцією О.В. Горика]. – Харків: Вид-во «НТМТ», 2017. — 448 с. ISBN 978-966-2989-39-7.

2. Пальчевський Б.О. Функціональний і технологічний аналіз деталей виробу // Автоматизація виробничих процесів у машинобудуванні та приладобудуванні: Український міжвідомчий науково-технічний збірник.- Вип. 33.- Львів, 1998. - С. 102-113.

3. Пальчевський, Б.О., Левтринська О.Ю. Застосування функціонально-вартісного аналізу для оптимізації спеціальних закупорювальних засобів // Наукові нотатки. – Луцьк: Ред.- вид. відділ ЛДТУ. – 2004. – Вип. 11 – С. 151 – 161.

4. Терміни та визначення в технічній творчості та наукових дослідженнях. Методичний посібник / Укладачі: Пилипець М.І, Васильків В.В., Радик Д.Л. – Тернопіль: Вид.-во ТНТУ імені Івана Пулюя, 2011. – 294 с.

5. Експериментальні дослідження в технології машинобудування. Навчальний посібник з дисципліни "Наукові дослідження і теорія експерименту". Уклад. Васильків В.В., Радик Д.Л. – Тернопіль: Вид.-во ТНТУ імені Івана Пулюя, 2012. – 256 с.

6. Васильків, В.В. Розвиток науково-прикладних основ розроблення технологій виробництва гвинтових і шнекових заготовок з використанням уніфікації: дис. ... д-ра. техн. наук: 05.02.08 / Василь Васильович Васильків; Нац. ун-т «Львів. політехніка». – Львів, 2015. – 312 с.

7. Васильків, В. В. Класифікація робочих органів гнучких гвинтових конвеєрів / В. В. Васильків, М. Р. Гевко // Збірник наукових праць Вінницького національного аграрного університету. Серія : Технічні науки. - 2012. - Вип. 11(2). - С. 117-121.

8. Vasylykiv, V., Pylypets, M., Danylchenko, L., Radyk, D. (2021) Formalized description and synthesis of schemes for shaping helical flights and auger billets based on the componentic methods. Scientific Journal of TNTU (Tern.), vol 104, no 4, pp. 44–57.

9. Технологічні основи формотворення різнопрофільних гвинтових заготовок / Б.М. Гевко, М.І. Пилипець, В.В. Васильків, Д.Л. Радик. – Тернопіль: вид-во ТДТУ ім. І. Пулюя, 2009. – 457 с. – ISBN 966-305-014-4.

10. Генеративний дизайн та оптимізація у виробничих технологіях. Сторінка навчальної дисципліни на сервері дистанційного навчання ТНТУ (ID 4580). Режим доступу: <https://dl.tntu.edu.ua/login.php?course=4580>

ЗМІСТ

1 МЕТА РОБОТИ	3
2 ЗАГАЛЬНІ ВІДОМОСТІ ПРО МЕТОДИКУ ФУНКЦІОНАЛЬНО-ВАРТІСНОГО АНАЛІЗУ.	3
2.1 Методика функціонально-вартісного аналізу та методологія функціонально-вартісного проектування	4
2.2. Формулювання завдання при предметному й функціональному підходах на прикладі спеціального зенкера	4
2.3 Основні етапи ФВА	8
3. ПРИКЛАД ЗАСТОСУВАННЯ МЕТОДИКИ ФУНКЦІОНАЛЬНО-ВАРТІСНОГО АНАЛІЗУ ДЛЯ ДОСЛІДЖЕННЯ КОНСТРУКЦІЇ ЗАКУПОРЮВАЛЬНОГО ЗАСОБУ ДЛЯ ДОЗОВАНОГО АЕРОЗОЛЮ	11
4 ПОРЯДОК ПРОВЕДЕННЯ РОБОТИ	22
5 ЗАВДАННЯ НА ПРАКТИЧНУ РОБОТУ	22
6 СТРУКТУРА ЗВІТУ	28
7 КОНТРОЛЬНІ ЗАПИТАННЯ	28
8 ПЕРЕЛІК ЛІТЕРАТУРНИХ ДЖЕРЕЛ ТА ІНФОРМАЦІЙНИХ РЕСУРСІВ	29

Для нотаток