

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
ВІННИЦЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ АГРАРНИЙ УНІВЕРСИТЕТ

Інженерно-технологічний факультет
Кафедра технологічних процесів та обладнання
переробних і харчових виробництв

Допущений до захисту:
завідувач кафедри
д.т.н., професор Севостьянов І.В.

(підпис, вчене звання, прізвище, ініціали)

« ___ » _____ 2021 р.

**ДОСЛІДЖЕННЯ СИСТЕМ ПІДЙОМНО-ТРАНСПОРТНИХ МАШИН
ДІЛЯНОК ПЕРЕРОБНИХ ТА ХАРЧОВИХ ПІДПРИЄМСТВ**

Робота на здобуття освітнього ступеня «Магістр»
за спеціальністю 133 «Галузеве машинобудування»

Виконав: студент групи 61-МП-маг
Макарук Сергій Володимирович

Керівник: д.т.н., професор
Севостьянов Іван Вячеславович

ВІННИЦЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ АГРАРНИЙ УНІВЕРСИТЕТ

Кафедра технологічних процесів
та обладнання переробних і
харчових виробництв

Інженерно-технологічний
факультет

ЗАТВЕРДЖУЮ

зав. кафедри ТПОПХВ

д.т.н., професор _____ Севостьянов І.В.

« ____ » _____ 2021 р.

ЗАВДАННЯ НА МАГІСТЕРСЬКУ РОБОТУ

студенту Макаруку Сергію Володимировичу

на тему

«Дослідження систем підйомно-транспортних машин ділянок переробних та харчових підприємств»

затверджену Наказом від « ____ » _____ 2021 року № ____

Вихідні дані для підготовки роботи:

1. Методичні вказівки з виконання магістерської роботи.
2. План-проспект магістерської роботи.
3. Підручники та навчально-методичні посібники, статистичні дані.
4. Наукові видання (монографії, книги, збірники, журнали, методики, матеріали ЦНТІ).
5. Методика економічної оцінки результатів досліджень.
6. Дані власних досліджень, одержаних за попередній період.

Календарний план виконання магістерської роботи

Структура роботи		Об'єм, стор.	Термін підготовки	Підпис керівника
Анотація		1	Листопад 2021 року	
Вступ		3	Листопад 2021 року	
Розділ 1	Аналіз методів формування систем підйомно-транспортних машин транспортних систем переробних і харчових підприємств	21	Листопад 2021 року	
Розділ 2	Аналіз та синтез варіантів систем підйомно-транспортних машин переробних і харчових підприємств	17	Листопад 2021 року	
Розділ 3	Оцінка та вибір варіанту системи підйомно-транспортних машин	28	Листопад 2021 року	
Розділ 4	Практична реалізація результатів дослідження	9	Листопад 2021 року	
Висновки		2	Листопад 2021 року	
Список використаної літератури		4	Квітень 2021 року – листопад 2021 р.	

Термін подання роботи на кафедру

для попереднього захисту «__» _____ 2021 р.

Завдання видано «14» _____ березня _____ 2021 р.

Завдання прийняв до виконання _____

Керівник _____ І.В. Севостьянов д.т.н., професор

(підпис)

АНОТАЦІЯ

У роботі вирішується актуальна проблема підвищенні ефективності виробничого процесу отримання харчової продукції на основі формування оптимальних структур систем підйомно-транспортних машин цехів та діляниць переробних та харчових підприємств. Зокрема проведено аналіз методик формування структури систем підйомно-транспортних машин цехів і діляниць переробних та харчових підприємств. Розроблено математичну модель структурно-параметричного синтезу систем підйомно-транспортних машин цехів і ділянок переробних та харчових підприємств на ранніх стадіях процесу їх проектування. Розроблено методику формування і оцінки ефективності структур систем підйомно-транспортних машин цехів і діляниць переробних та харчових підприємств на ранніх стадіях процесу їх проектування. Розроблено програмне забезпечення, що реалізує результати наукових досліджень.

ANNOTATION

The actual problem of increase of efficiency of production process of reception of foodstuff on the basis of formation of optimum structures of systems of hoisting-and-transport cars of shops and sites of processing and food enterprises is solved in work. In particular, the analysis of methods of forming the structure of systems of hoisting and transport machines of shops and sections of processing and food enterprises is carried out. The mathematical model of structural-parametric synthesis of systems of hoisting-and-transport machines of shops and sites of the processing and food enterprises at early stages of process of their designing is developed. The method of formation and estimation of efficiency of structures of systems of hoisting and transport cars of shops and sites of processing and food enterprises at early stages of process of their designing is developed. Software has been developed that implements the results of scientific research.

Зміст

ВСТУП.....	6
1 АНАЛІЗ МЕТОДІВ ФОРМУВАННЯ СИСТЕМ ПІДЙОМНО-ТРАНСПОРТНИХ МАШИН ТРАНСПОРТНИХ СИСТЕМ ПЕРЕРОБНИХ І ХАРЧОВИХ ПІДПРИЄМСТВ	9
1.1 Завдання процесу проектування транспортних систем	9
1.2 Методи синтезу проектних рішень систем підйомно- транспортних машин	16
1.2.1 Класифікація задач синтезу	17
1.2.2 Структурний синтез	18
1.2.3 Комбінаторно-логічні методи структурного синтезу	18
1.3 Оцінка отриманих варіантів проектних рішень систем підйомно-транспортних машин	20
1.4 Аналіз критеріїв прийняття рішення про вибір систем підйомно- транспортних машин	22
1.5 Дослідження сформованого варіанту системи підйомно-транспортних машин	26
2 АНАЛІЗ ТА СИНТЕЗ ВАРІАНТІВ СИСТЕМ ПІДЙОМНО- ТРАНСПОРТНИХ МАШИН ПЕРЕРОБНИХ І ХАРЧОВИХ ПІДПРИЄМСТВ	30
2.1 Аналіз предметної області систем підйомно-транспортних машин.....	30
2.1.1 Системи підйомно-транспортних машин цехів та дільниць переробних і харчових підприємств	30
2.2 Визначення необхідної продуктивності та кількості одиниць підйомно-транспортного обладнання	36
2.3 Формування альтернативних варіантів систем підйомно-транспортних машин	44
3 ОЦІНКА ТА ВИБІР ВАРІАНТУ СИСТЕМИ ПІДЙОМНО-	

ТРАНСПОРТНИХ МАШИН	47
3.1 Критерій оптимальності варіанту системи підйомно-транспортних машин	47
3.1.1 Складові собівартості при проектуванні системи підйомно-транспортних машин	49
3.1.2 Складові капітальних вкладень при проектуванні систем підйомно-транспортних машин	55
3.1.3 Складові витрат від простою технологічного обладнання.....	57
3.2 Методика оцінки згенерованих варіантів СПТМ	58
3.2.1 Визначення функції пристосованості генетичного алгоритму	59
3.2.2 Узагальнена структура генетичного алгоритму при виборі варіанту системи підйомно-транспортних машин	63
3.3 Методика формування системи підйомно-транспортних машин	65
3.4 Верифікація моделі структурно-параметричного синтезу	66
3.4.1 Аналіз діяльності системи підйомно-транспортних машин ТОВ «Агрона Фрут Україна».....	67
3.4.2 Синтез альтернативних варіантів системи підйомно-транспортних машин	69
4 ПРАКТИЧНА РЕАЛІЗАЦІЯ РЕЗУЛЬТАТІВ ДОСЛІДЖЕННЯ.....	75
4.1 Розробка програмного забезпечення	75
4.1.1 Опис програмного комплексу	75
4.1.2 Огляд можливостей розробки додатку	76
4.2 Аналіз показників ефективності порівнюваних варіантів	77
4.3 Порівняльний аналіз пропонованого варіанту системи підйомно-транспортних машин ТОВ «Агрона Фрут Україна».....	82
ВИСНОВКИ.....	84
СПИСОК ЛІТЕРАТУРИ	86

ВСТУП

Актуальність теми. Реалізація «Стратегії інноваційного розвитку України на період до 2025 року» передбачає безперервний розвиток переробних підприємств, що передбачає створення в них нових і реконструкцію діючих основних технологічних та допоміжних цехів і дільниць. Цехи і дільниці переробних підприємств є досить складними технологічними системами, структури і діяльність яких безпосередньо залежать від складності і різноманітності продукції, що випускається, характеру виробничого процесу її виготовлення і обсягу виробництва. Реалізований ними виробничий процес виготовлення продукції включає наступні основні стадії: отримання і складування сировини, доставка її до робочих місць, виконання різних видів переробки, переміщення напівфабрикатів між робочими місцями, контроль якості готової продукції, зберігання на складах, багато з яких пов'язані з підйомом і транспортуванням вантажів. Підвищити ефективність виробничого процесу можливо тільки на основі комплексної механізації і автоматизації його основних і допоміжних процесів і операцій.

Парк підйомно-транспортних машин є величезним та функціональним. Це викликає труднощі формування та аналізу альтернативних варіантів систем підйомно-транспортних машин при організації нового машинобудівного виробництва або реконструкції діючого і призводить до підвищеного простою технологічного обладнання внаслідок низької ефективності СПТМ. Одним з можливих шляхів для подолання таких труднощів є застосування інтелектуальних інформаційних систем, що реалізують концепції автоматизованих систем структурно-параметричного синтезу технічних рішень. Таким чином, актуальною є науково-технічна задача вдосконалення методів структурно-параметричного синтезу систем підйомно-транспортних машин цехів і дільниць переробних підприємств.

Ступінь розробленості теми. Питання розробки методів проектування виробничих систем, в тому числі і систем підйомно-транспортних машин,

досліджували Алієв Р.А., Антипова Л.В., Анцев В.Ю., Беклешов В.К., Без'язичний В.Ф., Бойцов Б.В., Васильєв В.А., Васін Л.А., Волчкєвіч Л.І., Вороненко В.П., Вторушин Д.П., Дорофєєв С.Ю., Єгоров В.А., Єгоров М.Є., Зуєв В.М., Ільїна Н.М., Іноземцев А.Н., Казюлін Г.П., Ко сов М.Г., Кудрявцев О.М, Лобуз В.В., Мельников Г.М., Насретдінов А.В., Наянзін К.М., Наянзін Н.Г., Сердюкова Л.О., Соломенцев Ю.М., Схиртладзе А.Г., Трушкевич А.І., Тичин А.В., Тюгай І.М., Чарнко Д.В., Хабаров М.М., Шадскій Г.В., Ямпільський Е.С. та ін. вчені. При цьому багато досліджень присвячено питанням проектування автоматизованих транспортно-накопичувальних систем гнучких автоматизованих виробництв і формування структури парку підйомно-транспортного обладнання складських систем тарно-штучних вантажів, і завдання структурн о-параметричного синтезу систем підйомно-транспортних машин цехів і дільниць переробних і харчових підприємств не знайшла остаточного рішення.

Мета роботи полягає в підвищенні ефективності виробничого процесу отримання харчової продукції на основі формування оптимальних структур систем підйомно-транспортних машин цехів та дільниць переробних та харчових підприємств.

Для досягнення поставленої мети сформульовані і вирішені наступні завдання дослідження:

- 1) проведено аналіз методик формування структури систем підйомно-транспортних машин цехів і дільниць переробних та харчових підприємств;
- 2) розроблено математичну модель структурно-параметрического синтезу систем підйомно-транспортних машин цехів і ділянок переробних та харчових підприємств на ранніх стадіях процесу їх проектування;
- 3) розроблено методику формування і оцінки ефективності структур систем підйомно-транспортних машин цехів і дільниць переробних та харчових підприємств на ранніх стадіях процесу їх проектування;
- 4) розроблено програмне забезпечення, що реалізує результати наукових досліджень.

Об'єкт дослідження - системи підйомно-транспортних машин цехів і дільниць переробних і харчових підприємств.

Предмет дослідження - структурно-параметричний синтез систем підйомно-транспортних машин цехів і дільниць переробних і харчових підприємств.

1 АНАЛІЗ МЕТОДІВ ФОРМУВАННЯ СИСТЕМ ПІДЙОМНО-ТРАНСПОРТНИХ МАШИН ТА ТРАНСПОРТНИХ СИСТЕМ ПЕРЕРОБНИХ І ХАРЧОВИХ ПІДПРИЄМСТВ

1.1 Завдання процесу проектування транспортних систем

В сучасних умовах підприємство є основною ланкою ринкової економіки, що змушує переходити на випуск нової номенклатури продукції або істотно її розширювати відповідно до вимог ринку, організаційно перебудовуватися. Проведені в нашій країні реформування промисловості на принципах ринкових умов господарств привели до необхідності створення принципово нових підходів до управління виробничою діяльністю переробних і харчових підприємств.

Підвищення ефективності роботи переробних і харчових підприємств можливо тільки за умови забезпечення ефективного функціонування технологічних систем цих підприємств на всіх стадіях життєвого циклу: проектування - впровадженні - експлуатації. В даний час, коли існує концепція переходу від проектування і технологічної підготовки окремих технологічних систем до комплексного проектування. Відповідно до ГОСТ 27.004-85 під технологічною системою розуміється сукупність функціонально взаємопов'язаних засобів технологічного оснащення, предметів виробництва та виконавців для виконання в регламентованих умовах виробництва заданих технологічних процесів або операцій. На підприємстві переробної або харчової промисловості існує чотири ієрархічних рівня технологічних систем: технологічна система підприємства, технологічні системи виробничих підрозділів, технологічні системи процесів переробки і технологічні системи операцій [1, 2]. В результаті функціонування технологічної системи відбувається отримання з вихідної сировини готової продукції із заданими параметрами якості.

У загальному випадку до складу технологічної системи входять реалізовані в ній технологічні процеси, предмети виробництва (матеріали,

сировина, напівфабрикати), основне і допоміжне технологічне обладнання, транспортна підсистема, підсистема управління і обслуговуючий персонал. В даний час в переробній і харчовій промисловості склалася тенденція створення складних технологічних систем, що характеризуються великим числом і різноманітністю елементів, що входять до них і складністю зв'язків між елементами. Постійне збільшення номенклатури та прискорення змінюваності продукції переробної і харчової промисловості призвело до того, що створення нових або модернізація діючих технологічних систем у масовому виробництві стало являти собою надзвичайно складну техніко-економічну задачу для вітчизняних переробних і харчових підприємств.

Проблема проектування ефективної для конкретних умов реалізації виробничої технологічної системи є комплексною і системотехнічною. Її складність полягає в необхідності спільного вирішення цілого комплексу різноманітних завдань. Вирішення цієї проблеми полягає в органічному поєднанні і спільному вирішенні задач конструкторської, технологічної та організаційної підготовки виробництва на основі наскрізних оцінок, що діють на всіх етапах процесу вирішення зазначених завдань. Склад і структура технологічної системи переробки харчової сировини визначається рядом реалізованих в цій системі процесів. Технологічні процеси визначають формування з вихідних матеріалів, сировини та напівфабрикатів готової продукції.

Допоміжні процеси забезпечують технологічні процеси усіма необхідними ресурсами. Організаційні та керуючі процеси забезпечують реалізацію технологічних і допоміжних процесів отримання готової продукції і визначають взаємозв'язки між процесами та засобами, що їх забезпечують.

Одним з елементів технологічної системи є система підйомно-транспортних машин, що представляє собою основну організуючу і сполучну ланку виробничого процесу і забезпечує підйом, транспортування, накопичення, зберігання, облік і розподіл сировини, напівфабрикатів,

готових продуктів і т. п. До СПТМ відносяться системи, що містять механізми і установки, призначені для виконання транспортних, складських і вантажно-розвантажувальних операцій.

Питанням проектування переробних і харчових підприємств присвячені роботи багатьох авторів, серед яких можна виділити М.Є. Єгорова, Д.В. Чарнко, М.М. Хабарова, Е.С. Ямпільського, Ю.М. Соломенцева, В.П. Вороненко, Л.А. Васіна, А.Н. Іноземцева, В.Ю. Анцева, Г.В. Шадського, Е.М. Кудрявцева, В.М. Зуєва та ін. [4 - 13].

Підходи до вирішення питань, пов'язаних зі створенням або модернізацією як самих виробництв, так і їх окремих ланок, різняться і вражають своїм різноманіттям. Так в роботі Л.О. Сердюкової розроблялося рішення задач проектування транспортно-складських робіт, супутніх матеріальних потоків в цехах підприємств [14]. У роботі Наянзіна К.М. вирішуються питання синтезу структурно-компонувальних рішень АНС на ранній стадії їх проектування [15]. В роботі В.В. Лобуза розроблялося рішення задач підвищення ефективності проектних рішень і зниження їх трудомісткості при технологічній підготовці виробництва, розробці проектів технічного переозброєння, а також при проектуванні нових цехів серійного виробництва [16]. У роботі В.І. Воротинцева оптимізуються параметри виробничо-транспортних процесів на переробних і харчових підприємствах з позицій комплексної технології виробництва [17]. Робота Радаєва А.Є. присвячена розробці методики формування структури парку підйомно-транспортного обладнання складської системи тарно-штучних вантажів [18]. У праці Сміхова А.А. розглянуті раціональні варіанти об'ємно-планувальних рішень для великих транспортно-складських комплексів, технічні засоби автоматизації вантажно-розвантажувальних і складських операцій, планування транспортно-складських процесів та управління ними [19].

Для всіх питань, пов'язаних з будівництвом нових або модернізацією існуючих підприємств, необхідною умовою є створення проектів. У свою

чергу проект промислового підприємства складається з трьох основних частин, які взаємообумовлюють і доповнюють одна одну:

- зміст, або функція - це технологія;
- форма, в яку укладено зміст;
- об'ємно-планувальне рішення і система життєзабезпечення і обслуговування виробництва - інженерні рішення.

Проект - це комплекс технічних документів, що містять опис, розрахунки, креслення, макети будівель і споруд, призначених до будівництва або реконструкції [20]. Таким чином, проект заснований на виборі інженерних рішень і будівельних конструкцій для створення об'ємно-просторової, естетично і технічно досконалої композиції промислового підприємства, що задовольняє вимогам економіки і сучасної організації будівництва.

Проектування і будівництво всіх промислових об'єктів здійснюють на основі затверджених державними органами норм і розпорядчих документів, згрупованих за видами, напрямками проектно-будівельної діяльності і галузям промисловості [20].

При проектуванні цехів і дільниць одночасно розробляють і вирішують ряд завдань, до яких А.А. Андерс, Н.М. Потапов, А.В. Шулешкін відносять економічні, технічні та організаційні завдання (таблиця 1.1) [21].

Як процес, що розвивається в часі, проектування, відповідно до методології управління проектами, ділиться на стадії, етапи, проектні процедури і операції [22-29]. М.Є. Єгоров виділяє наступні стадії проектування [4]:

1) при можливості широкого використання типових проектів і типових рішень або повторного використання наявних проектів аналогічних підприємств, будівель і споруд, які отримали позитивну техніко-економічну оцінку:

- проектне завдання зі зведеним кошторисно-фінансовим розрахунком;
- робочі креслення;

Таблиця 1.1 - Завдання розробки технічного проекту завдання [40]

Задачі		
економічні	технічні	організаційні
<ul style="list-style-type: none"> - вибір профілю та ступеня спеціалізації підприємства; - встановлення виробничої програми; - визначення джерел забезпечення сировиною, матеріалами, напівфабрикатами, паливом, енергією, водою; - вибір і обґрунтування місця розташування підприємства; - визначення необхідних розмірів основних і оборотних коштів, собівартості і ефективності витрат. 	<ul style="list-style-type: none"> - проектування технологічних процесів обробки деталей і складання вузлів; - визначення необхідного фонду робочого часу і потреби в робочій силі; - підбір і розрахунок кількості основного та допоміжного обладнання; - визначення необхідної кількості сировини, матеріалів, напівфабрикатів, палива, енергії всіх видів; - розробка питань транспорту, освітлення, опалення, вентиляції, каналізації; - компоновка і планування цеху; - підрахунок необхідних площ; - визначення потрібних площ, внутрішнє планування цехів і допоміжних будівель; - визначення розмірів, типів і форм будівель, розробка їх конструкцій і взаємного розташування; - заходи з техніки безпеки. 	<ul style="list-style-type: none"> - розробка структури управління підприємством, його відділами і цехами; - організація адміністративної, технічної і фінансово-господарських служб; - встановлення змісту і порядку проходження документації, форм планування звітності та контролю; - розробка питань з організації праці; - вирішення питань наукової організації праці та організації робочих місць; - розробка заходів з підготовки кадрів, обслуговування робочих місць і створення найбільш сприятливих умов праці.

2) при відсутності можливості використання типових і наявних економічних проектів і при проектуванні підприємств з новим неосвоєним виробництвом або складним технологічним процесом:

- проектне завдання зі зведеним кошторисно-фінансовим розрахунком;
- технічний проект зі зведеним кошторисом;
- робочі креслення.

У свою чергу Л.А. Федотова виділяє два періоди проектування переробних та харчових цехів і заводів: передпроектний і проектний [30].

Передпроектний період складається з:

- техніко-економічного обґрунтування;
- завдання на проектування;
- вибору району і ділянки будівництва заводу;
- черги будівництва і пускові комплекси.

Проектний період включає в себе:

- стадії проектування;
- технічний проект;
- робочі креслення;
- техноробочий проект.

Сучасне переробне і харчове виробництво організовано у формі сукупності взаємопов'язаних і взаємодіючих виробничих систем. Виробнича система (ВС) може бути визначена як сукупність взаємопов'язаних і цілеспрямовано взаємодіючих елементів засобів виробництва і праці, підібраних в у відповідності із заданими критеріями сумісності, доцільності, економічності і адаптованих для певної виробничої діяльності (випуску продукції або надання послуг).

Завдання підприємства, цеху або ділянки полягає в тому, щоб сприйняти «на вході» чинники виробництва (витрати), переробити їх і «на виході» видати готову продукцію (результат). Це і є виробничим процесом.

Виробнича діляниця являє собою досить складну систему, структура і діяльність якої безпосередньо залежать від складності і різноманітності продукції, що випускається, характеру технологічного процесу її виготовлення і обсягу виробництва. При цьому ділянка являє собою одночасно підсистему цеху як системи більш високого порядку. Цех в свою чергу, є підсистемою підприємства. Структура ділянок і цехів переробних і харчових підприємств визначається складом технологічного обладнання, його кількістю і матеріальним зв'язком між одиницями обладнання, який

забезпечується системою підйомно-транспортних машин, що здійснює істотний вплив на тривалість виробничого циклу. Система підйомно-транспортних машин повинна своєчасно і в необхідній послідовності забезпечити виконання всіх запитів технологічного обладнання, накопичувачів і складу в необхідних матеріалах, напівфабрикатах і готової продукції [32].

Транспорт є частиною виробничого процесу і впливає на тривалість його циклу. При розробці транспортно-технологічної схеми виробничого процесу необхідно забезпечити ув'язку роботи підйомно-транспортних машин, механізмів і технологічного обладнання [9, 33]. При формуванні систем підйомно-транспортних машин цехів і дільниць переробних і харчових підприємств необхідно забезпечити взаємну ув'язку роботи системи підйомно-транспортних машин і технологічного обладнання.

Такі системи включають склади, транспорт, накопичувачі на робочих місцях (позиціях) і різні механізовані або автоматизовані перевантажувальні пристрої. При цьому виключається ручна перекидка вантажів. Чим вище рівень автоматизації транспортних операцій, тим нижче експлуатаційні витрати, оскільки основні експлуатаційні витрати припадають на заробітну плату транспортних робітників. Реалізація завдань розробки проектів створення або реконструкції СПТМ переробних і харчових підприємств традиційними методами на практиці досить складна і пов'язана з необхідністю прийняття проектувальником швидких і обґрунтованих рішень, пов'язаних з вибором оптимальних проектних рішень.

Оцінка і прийняття рішення про вибір проектного рішення по системі підйомно-транспортних машин здійснюється в два етапи: виділення області компромісів (проектних рішень, оптимальних за Парето) і подальше її звуження на основі деякої системи компромісу, в окремому випадку - до єдиного проектного рішення, оптимального з точки зору проектувальника (особи, що приймає рішення).

Процес створення проектних рішень складається з трьох завдань: *аналізу, синтезу, оцінки та прийняття рішень.*

У процесі аналізу встановлюють значення конструктивно-технологічних і техніко-економічних параметрів (критеріїв), які дозволяють порівняти проектні варіанти між собою. Синтез полягає в генеруванні (конструюванні) можливих альтернативних варіантів СПТМ. Оцінка і прийняття рішень полягають в загальній оцінці ефективності (корисності) варіантів на основі їх аналізу і в остаточному виборі проектних рішень [34, 35]. Розглянемо кожне із завдань проектування більш докладно.

1.2 Методи синтезу проектних рішень систем підйомно-транспортних машин

Вивчення проблем ВС показало, що готових рішень щодо компонування, типу і складу основного і допоміжного обладнання, організації виробничих процесів поки не існує. Більшість робіт, що ведуться в цьому напрямку, відрізняються різноманіттям рішень.

В даний час існує багато різних методів синтезу варіантів технічних систем, описаних в роботах Г.С. Антушева, Д.М. Ракова, А.Г. Івахненко, Д.П. Вторушина, Ю.М. Чяпяле, С.Ю. Дорофєєва, А.С. Донскова, А.В. Тичина, Л.М. Лук'янової, А.Н. Божко, А.Ч. Толпарова і інших [36].

Дослідження з даної проблематики можна розбити на ряд основних напрямків [37]:

- рішення задачі структурного синтезу на предметному рівні, що не виходять за рамки конкретного типу, в одиничних випадках класу, технічних об'єктів;

- розробка універсальних методів структурного синтезу, використовуваних для різних технічних об'єктів і незалежних від галузевої або цехової специфіки.

Синтез являє собою проектну процедуру, метою якої є з'єднання різних елементів в єдине ціле, систему. В результаті синтезу створюються проектні рішення, що володіють новими якостями відносно своїх елементів [38].

1.2.1 Класифікація задач синтезу

Аналіз існуючих робіт показує, що існує величезна кількість класифікацій задач синтезу. Це пов'язано з тим, що в якості класифікаційної ознаки можуть бути обрані рівні, стадії, етапи процесу проектування, види синтезованих проектних рішень, характеристики математичних моделей, складність і трудомісткість рішення завдання синтезу, способи вирішення і багато іншого [39] (рис. 1.1).

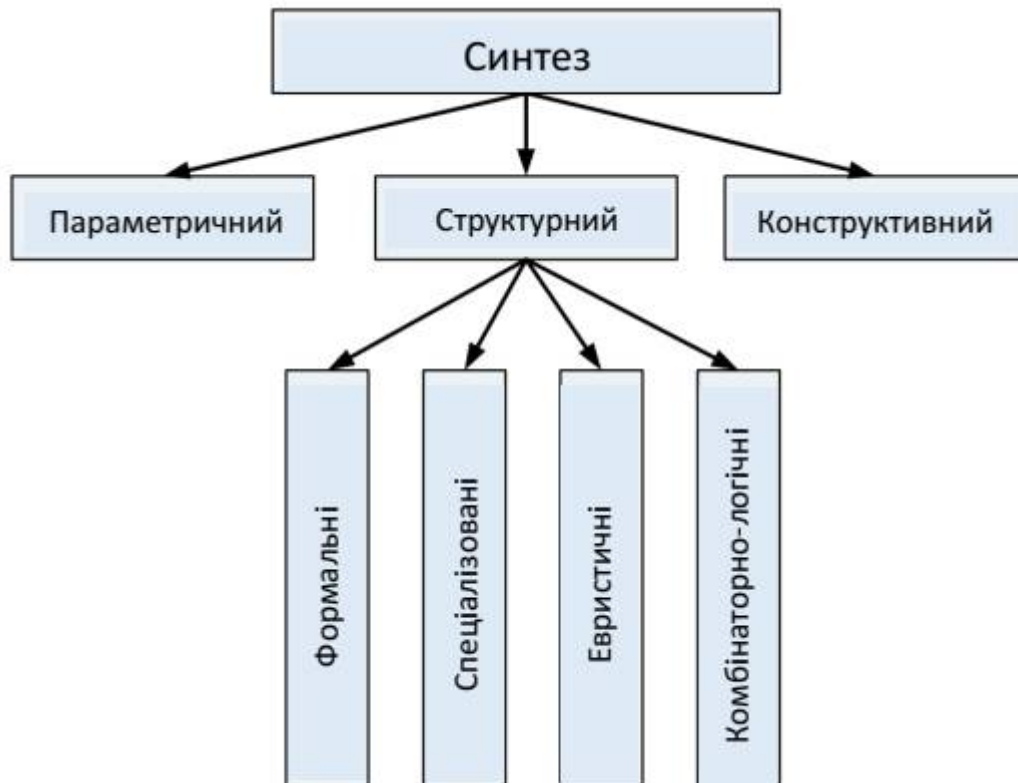


Рисунок 1.1 - Класифікація задач синтезу [40]

Для синтезу об'єкта, необхідно визначити його структуру, параметри елементів, його конструкцію. При формуванні систем підйомно-транспортних машин основних та допоміжних цехів і ділянок переробних та

харчових підприємств це характер технологічного процесу, структура і вид транспортного устаткування, використовуваного в СПТМ.

1.2.2 Структурний синтез

В результаті проведення структурного синтезу отримують опис складу системи і всіх істотних зв'язків між її елементами [37, 38]. Незважаючи на істотні відмінності існуючих технічних систем і процесів для всіх них можна запропонувати загальну постановку завдання синтезу: для заданої функції потрібно розробити опис об'єкта (технічної системи, процесу), який реалізує задану функцію і задовольняє деякій сукупності обмежень і особливих умов.

На реалізацію синтезованого варіанту накладаються обмеження. Завдання структурного синтезу проектних рішень, з точки зору можливості формалізації, відноситься до числа найбільш складних. Велика розмірність задач синтезу технічних об'єктів робить доцільним застосування блочно-ієрархічного підходу, при якому весь процес синтезу об'єкта розбивається на сукупність взаємопов'язаних ієрархічних рівнів [40].

1.2.3 Комбінаторно-логічні методи структурного синтезу

Аналіз існуючих наукових робіт показав, що серед всіх підходів до рішення завдання структурного синтезу найбільше поширення набули різні комбінаторно-логічні методи, в яких як засоби опису узагальнених структур використовуються табличні, алгебраїчні, логічні і мережеві моделі. Класифікація методів комбінаторно-логічного синтезу показана на рисунку 1.2.

Найбільшого поширення серед цих моделей отримали морфологічні таблиці і А-дерева (І-АБО-дерева) [41]. Морфологічні таблиці застосовуються на ранніх стадіях проектування і конструювання. Існує кілька модифікацій методу синтезу на основі узагальненої структури, що відрізняються один від одного способом опису узагальненої структури,

методами пошуку рішень, засобами опису заборон на поєднання різних альтернатив і т. д.

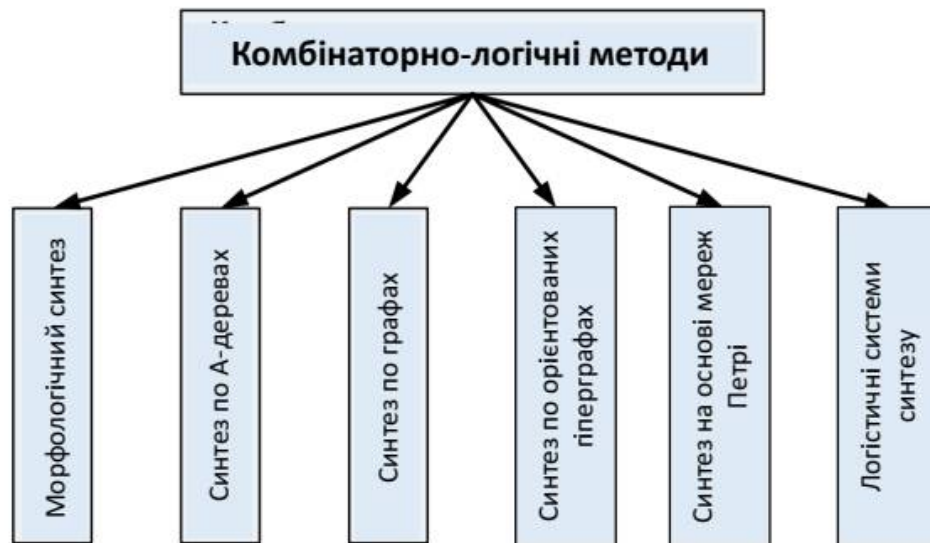


Рисунок 1.2 - Класифікація методів комбінаторно-логічного синтезу [40]

Метод морфологічного синтезу

Метод морфологічного синтезу застосовується на ранніх стадіях проектування і конструювання. Дозволяє знайти і систематизувати всі можливі способи побудови об'єкта, що мають дане функціональне призначення.

Багаточастковий граф

На ранніх етапах проектування для опису узагальнених структур використовується метод багаточасткових графів (N - часткових). Це граф виду $G = (X_1, X_2, \dots, X_n, R)$, де $X = UX_i$ - множина вершин, а R - множина ребер. Підмножину X_i прийнято називати частками графа, ребра графа можуть з'єднувати тільки вершини різних часток.

Вершини, що належать одній частці, завжди є незалежною підмножиною. Апарат багаточасткових графів дає ясний спосіб опису узагальнених структур. З його допомогою може бути отриманий чіткий опис рішення завдання синтезу. У цьому випадку будь-який повний N - вершинний підграф багаточасткового графа є рішенням задачі.

Структурний синтез за альтернативними деревами

Мова А-дерев володіє великими виразними можливостями в порівнянні з розглянутими засобами подання узагальнених структур [39].

Альтернативним деревом (А-деревом) називається вектор (G, S, γ) , в якому: $G = G(X, D)$ - кореневе орієнтоване дерево з множиною вершин $X = \{x_i\}$ і множиною дуг $D = \{d_j\}$; $S = \{s_k\}$ - множина назв (номерів) зв'язок; відображення $\gamma: S \rightarrow 2^D$ ставить у відповідність кожному імені зв'язки s , що належить S , підмножину $\gamma(S)$ з множини D , причому всі дуги однієї зв'язки мають загальну початкову вершину.

Структурний синтез з обмеженнями на основі N – часткових графів

Апарат двочасткових графів використовується для вирішення різних завдань. Набагато менш відомими є розширення цього засобу на багатовимірний випадок - так звані N -часткові графи. Засобами N -часткових графів можна описувати узагальнені структури з не дуже складною системою розбиття функції на підфункції.

Апарат N -часткових графів дає не тільки чіткий спосіб опису узагальнених структур з простою функціональною структурою, з його допомогою можна дати опис рішення задачі структурного синтезу, що враховує бінарні заборони на поєднання [35]. Таким чином, апарат N -часткових графів дозволяє чітко описати узагальнену структуру системи, що синтезується, а також отримати опис рішення задачі синтезу.

1.3 Оцінка отриманих варіантів проектних рішень систем підйомно-транспортних машин

Для вирішення завдань, пов'язаних з оцінкою варіантів систем підйомно-транспортних машин, отриманих в результаті синтезу СПТМ, а також для оцінювання підсистем, що утворюють кінцевий варіант, можливо застосування різних методів прийняття рішень та оцінки варіантів, серед

яких можна виділити математичні методи оптимізації та оцінки варіантів, методи прийняття рішень і оцінки варіантів, методи мінімізації ризику і стохастичної оцінки, комбінаторні методи, оцінки та перетворення графів, методи прийняття рішень на основі нечітких чисел, рівнянь і множин, методи еволюційних обчислень [36 - 39].

Серед методів еволюційних обчислень виділяють наступні [39]:

- еволюційне програмування - представляє рішення задачі у вигляді універсальних кінцевих автоматів, які реагують на стимули із зовнішнього середовища;

- еволюційні стратегії - кожне рішення знаходиться у вигляді масиву числових параметрів, що визначають аргумент цільової функції;

- генетичні алгоритми - кожне рішення є бітовим рядком (хромосоною) певної довжини в популяції фіксованого розміру;

- генетичне програмування - використання методів генетичного програмування для еволюції комп'ютерних програм.

Вибір методу генетичного алгоритму дозволяє здійснювати швидку генерацію можливих проектних рішень СПТМ. Генетичний алгоритм являє собою метод, що відображає природну еволюцію завдань оптимізації [30].

Основний генетичний алгоритм складається з наступних кроків:

- ініціалізація, або вибір вихідної популяції хромосом - вибір згенерованої структури СПТМ;

- оцінка пристосованості хромосом в популяції - оцінювання сумісності підсистем, що утворюють даний варіант СПТМ;

- перевірка умови зупинки алгоритму;

- селекція хромосом - синтез чергового варіанту СПТМ;

- застосування генетичних операторів - зміна попереднього згенерованого варіанту СПТМ шляхом заміни однієї з вершин N-часткового графа;

- формування нової популяції - формування нового варіанту СПТМ;

- вибір «найкращої» хромосоми - вибір оптимального варіанта СПТМ.

1.4 Аналіз критеріїв прийняття рішення про вибір систем підйомно-транспортних машин

Як було відзначено, оцінка і прийняття рішення про системи підйомно-транспортних машин здійснюється в два етапи - це виділення області компромісів (рішень, оптимальних за Парето) і подальше її звуження на основі деякої системи компромісу, в окремому випадку - до однозначної відповіді, оптимальної з точки зору проектувальника (особи, що приймає рішення).

При виборі критеріїв оптимізації моделі структури СПТМ цеху переробного або харчового підприємства необхідно враховувати директивні показники, які встановлюються конкретним технічним завданням [32-34].

В роботі [34] виділені такі групи критеріїв, як:

- функціональні критерії, що характеризують найважливіші показники реалізації технічним об'єктом своєї функції;

- технологічні критерії, що відображають можливість виготовлення технічного об'єкта, а також витрати живої праці при його виготовленні і експлуатації;

- економічні критерії, що визначають економічну доцільність реалізації функції за допомогою розглянутого технічного об'єкта.

Для переробних і харчових підприємств основним критерієм оцінки та прийняття рішення є економічна ефективність. А.І. Половинкин в своїй роботі [35] виділяє наступні критерії економічної ефективності:

- критерій витрати матеріалів;

- критерій витрати енергії;

- критерій витрат на інформаційне забезпечення;

- критерій габаритних розмірів технічного об'єкта.

На практиці розрізняють загальну (абсолютну) і порівняльну економічну ефективність. Абсолютна економічна ефективність - показник за певний проміжок часу, що характеризує загальну величину економічного

ефекту в порівнянні з розміром витрат і ресурсів в окремо і сукупності.

Диференційовані показники абсолютної ефективності:

- трудомісткість виробництва (T_e) і продуктивність праці (Π_T):

$$T_e = \frac{T_3}{B},$$

$$\Pi_T = \frac{B}{T_3},$$

де T_3 - відпрацьований час працівниками підприємства (середньомісячна чисельність робітників); B - обсяг виробництва за плановий період;

- матеріаломісткість (M_e) і матеріаловіддача (M_o):

$$M_o = \frac{B}{M},$$

$$M_e = \frac{M}{B},$$

де M - матеріальні витрати;

- фондівіддача (Φ_o) і фондомісткість (Φ_e):

$$\Phi_e = \frac{\Phi}{B},$$

$$\Phi_o = \frac{B}{\Phi},$$

де Φ - середньорічна вартість основних виробничих фондів підприємства. Інтегральні (узагальнюючі) показники:

- витрати на 1000 грн. товарної продукції (Z):

$$Z = \frac{C_{СТ}}{ТП},$$

де $C_{СТ}$ - собівартість продукції, виробленої на підприємстві за плановий період; $ТП$ - обсяг товарної продукції;

- рентабельність виробництва ($R_{ПР}$) і рентабельність продукції ($R_{П}$), %:

$$P_{\text{пр}} = \left[\frac{\Pi_{\text{пр}}}{(\Phi + \text{ОС})} \right] \cdot 100,$$

$$P_{\text{T}} = \left(\frac{\Pi_{\text{T}}}{C_{\text{СТ}}} \right) \cdot 100,$$

де $\Pi_{\text{пр}}$ - валовий прибуток по підприємству; ОС - нормовані оборотні кошти підприємства; Π_{T} - прибуток від реалізації товарної продукції.

Особливе місце в системі показників щодо оцінки ефективності діяльності підприємства займають показники ефективності капітальних вкладень:

- капіталомісткість продукції (K_e) і капіталоотдача (K_0):

$$K_e = \frac{K}{\Delta B},$$

$$K_0 = \frac{\Delta B}{K},$$

де K - обсяг капітальних вкладень; ΔB - приріст випуску продукції, обумовлений капітальними вкладеннями на підприємстві;

- коефіцієнт економічної ефективності капітальних вкладень (E_k) для промислового господарства:

$$E_k = \frac{\Delta D}{K},$$

де ΔD - річний приріст обсягів відтвореного національного доходу (чистого прибутку);

- для діючого підприємства розглядають показник рентабельності капітальних вкладень:

$$P_k = \frac{\Delta \Pi}{K},$$

де $\Delta \Pi$ - приріст прибутку, обумовлений капітальними вкладеннями

- при створенні нових підприємств:

$$E_k = \frac{\Pi - C}{K_{\text{СМ}}},$$

де Ц - вартість річного випуску товарної продукції за проектом; С - собівартість річного випуску продукції; К_{см} - кошторисна вартість створюваного підприємства.

Порівняльна економічна ефективність - показник, що характеризує умовний економічний ефект, отриманий в наслідок порівняння і вибору кращого варіанту, який може бути визначений як відношення економії від зниження собівартості або підвищення рентабельності продукції до різниці капітальних вкладень та інших авансованих витрат між різними варіантами.

Оцінка порівняльної економічної ефективності може вестися:

- на основі розрахунку терміну окупності (Т^{ок}):

$$T^{ок} = (K^2 - K^1) \cdot (C^1 - C^2) < T_H,$$

де К₁ і К₂, С₁ і С₂ - відповідно, капітальні вкладення і річні поточні витрати з випуску продукції (річна собівартість) для порівнюваних варіантів; Т_н - нормативний термін окупності капітальних вкладень, що передбачає мінімально допустиму ефективність вкладення коштів;

- на основі розрахунку коефіцієнта порівняльної ефективності додаткових капітальних вкладень:

$$E = \frac{(C^1 - C^2)}{(K^2 - K^1)} > E_H,$$

де Е_н - нормативний коефіцієнт порівняльної економічної ефективності капітальних вкладень.

Якщо в результаті розрахунку отримано:

Т_{ок} < Т_н і Е > Е_н - оптимальним вважається варіант, що вимагає додаткових капітальних вкладень (більше капіталомісткий);

Т_{ок} > Т_н і Е < Е_н - оптимальним вважається менш капіталомісткий варіант.

Показником порівняльної економічної ефективності капітальних вкладень слугує мінімум приведених витрат. Наведені витрати - це сума

поточних витрат (собівартості) і капітальних вкладень, приведених до однакової розмірності відповідно до коефіцієнта економічної ефективності (E_n):

$$Z_{\Sigma} = C + E_n K,$$

де C - річні експлуатаційні витрати (собівартість робіт) по варіанту; K - прямі капітальні вкладення у виробничі фонди; E_n - нормативний коефіцієнт ефективності капітальних вкладень. Конкретне значення даного коефіцієнта залежить від загального стану розвитку національної економіки, зокрема від темпів інфляції, загального клімату в області інвестицій і т. д.

1.5 Дослідження сформованого варіанта системи підйомно-транспортних машин

Кінцевим етапом формування систем підйомно-транспортних машин механоскладальних і допоміжних цехів і дільниць машинобудівних підприємств є аналіз її показників, для оцінки яких остаточний варіант СПТМ повинен бути підданий випробуванням.

Найбільш поширеними методами аналізу показників ефективності технічних систем і дослідження динаміки їх функціонування є:

- аналітичний метод;
- метод натуральних випробувань;
- метод напівнатурального моделювання;
- імітаційне моделювання процесу функціонування системи.

Застосування аналітичного методу для дослідження процесу функціонування системи підйомно-транспортних машин є практично неможливим. Визначення аналітичної моделі СПТМ ускладнюється безліччю умов, що обумовлюються особливостями її роботи, взаємодією її структурних елементів, впливом зовнішнього середовища і т. п. Натурні випробування системи підйомно-транспортних машин пов'язані з великими витратами часу і коштів. Проведення випробувань передбачає наявність аналога СПТМ або її фізичної моделі, що виключає або ускладнює

використання цього методу на етапі проектування системи. Широке застосування для дослідження характеристик технічних систем знаходить метод напівнатурного моделювання. При цьому використовується частина реальних пристроїв системи. Включена в таку напівнатурну модель ЕОМ імітує роботи інших пристроїв системи, відображених математичними моделями. Однак найчастіше цей метод також пов'язаний зі значними витратами і труднощами, зокрема, апаратним стикуванням натурних частин з ЕОМ.

Використання методу імітаційного моделювання процесу функціонування СПТМ дозволяє скоротити час і кошти на розробку моделі. Витрати робочого часу та матеріальних коштів на реалізацію методу імітаційного моделювання виявляються незначними в порівнянні з витратами, пов'язаними з натурним експериментом. Результати моделювання за своєю цінністю для практичного вирішення завдань часто близькі до результатів натурального експерименту.

Імітаційне моделювання (ІМ) - метод дослідження, при якому система, що вивчається замінюється моделлю. Остання має з достатньою точністю описувати реальну систему [16]. ІМ забезпечує вищу точність результатів за рахунок можливості детального відтворення функціонування досліджуваної системи підйомно-транспортних машин в перебігу тривалих інтервалів віртуального часу з урахуванням імовірнісного характеру вихідних даних.

Великий теоретичний і практичний внесок у розвиток ІМ внесли такі вчені, як Н.П. Бусленко, В.В. Калашников, Н.Б. Кобелев, Т. Нейлор, Р. Шеннон, Т. Дж. Шрайбер [17-22].

Імітаційне моделювання як інструмент дослідження окремих об'єктів застосовується з 1960-х років. Однак отримання реальних і достовірних результатів для досить великих і складних об'єктів стало можливим лише в останні роки в зв'язку з істотним розширенням можливостей обчислювальної техніки [20]. Дана обставина пояснює велику кількість випущених за останнє десятиліття наукових робіт і статей, пов'язаних із застосуванням засобів

імітаційного моделювання в різних областях, в тому числі і при описі процесів функціонування підйомно-транспортної техніки в рамках виробничих об'єктів [21- 27].

В даний час найбільш широке практичне застосування отримали такі засоби ІМ [28]:

- AnyLogic;
- Arena;
- GPSS.

AnyLogic - програмне забезпечення для ІМ складних систем і процесів, розроблене російською компанією XJ Technologies. Даний програмний продукт призначений для проектування і оптимізації бізнес-процесів або будь-яких складних систем, таких як виробничий цех, аеропорт, госпіталь і т. д. [29].

Arena - один з найбільш ефективних інструментів імітаційного моделювання, розроблений компанією Systems Modeling. Arena дозволяє будувати імітаційні моделі, програвати їх і аналізувати результати. За допомогою Arena можуть бути побудовані моделі для самих різних сфер діяльності - виробничих технологічних операцій, складського обліку, банківської діяльності, обслуговування клієнтів в ресторані тощо [20].

GPSS (General Purpose Simulation System) - універсальна система імітаційного моделювання, призначена для розробки моделей складних систем з дискретним і безперервним характером функціонування і проведення експериментів з метою вивчення властивостей і закономірностей процесів, що протікають в них, а також вибору найкращого проектного рішення серед декількох можливих варіантів [31].

Серед множини реалізацій GPSS однією з найбільш доступних і популярних є GPSS World [22-24]. У даній роботі автором для аналізу показників остаточного варіанту системи підйомно-транспортних машин за допомогою імітаційного моделювання процесу її функціонування пропонується використовувати саме GPSS World в останній своїй версії -

розширений редактор GPSS World, розроблений компанією «Елліна-Комп'ютер» в 2011-2013 роках (студентська версія поширюється вільно).

Вибір саме цього програмного продукту пояснюється наступними факторами:

- вільним доступом до повноцінної студентської версії програми;
- дана мова моделювання з найбільшим успіхом використовується для систем, що формалізуються у вигляді систем масового обслуговування;
- має зручний багатовіконний зручний для користувача інтерфейс, з вбудованими засобами візуалізації та інтерактивного управління процесом моделювання, велику бібліотеку вбудованих процедур, що включає, в тому числі, генератори випадкових величин.

2 АНАЛІЗ ТА СИНТЕЗ ВАРІАНТІВ СИСТЕМ ПІДЙОМНО-ТРАНСПОРТНИХ МАШИН ПЕРЕРОБНИХ І ХАРЧОВИХ ПІДПРИЄМСТВ

Завдання аналізу та синтезу альтернативних варіантів систем підйомно-транспортних машин цехів і діляниць переробних і харчових підприємств вирішуються на ранніх стадіях процесу їх проектування, що виділені в [4, 30].

При цьому синтезу альтернативних варіантів передуює аналіз, який дозволяє виявити взаємозв'язок габаритів підйомно-транспортних засобів з простором цехів переробних і харчових підприємств; основні компоновально-планувальні рішення застосовуваного транспортного обладнання; типи переміщуваного вантажу, тари і оснащення, використовуваних при транспортуванні та зберіганні вантажів; характеристику транспортного устаткування.

2.1 Аналіз предметної області систем підйомно-транспортних машин

2.1.1 Системи підйомно-транспортних машин переробних і харчових цехів та діляниць переробних і харчових підприємств

Призначення систем підйомно-транспортних машин

Основне призначення системи підйомно-транспортних машин [17- 22]:

- доставка зі складу в необхідний момент часу до необхідної виробничої ділянки вантажів;
- доставка та подача сировини, матеріалів, напівфабрикатів або готової продукції в необхідний момент часу на необхідне технологічне обладнання;
- знімання напівфабрикатів або готової продукції з обладнання і подальше транспортування їх в задане місце;
- відправка в накопичувач вантажів і видача їх з накопичувача в необхідний момент часу;

- доставка напівфабрикатів або готової продукції з виробничих ділянок на склад.

Ефективність виробничого процесу багато в чому залежить від способу реалізації транспортування, оскільки транспортні операції є безпосереднім виразом зв'язків між окремими етапами технологічного процесу, безпосередньо залежить від типу виробництва.

Розглянемо докладніше класифікацію систем підйомно-транспортних машин.

Класифікація систем підйомно-транспортних машин

- Вид маршруту руху

У СПТМ можливі наступні види маршрутів руху транспортних засобів [33]:

- Односторонній.
- Двосторонній.
- Маятниковий.
- Кільцевий.

- Спосіб переміщення вантажів

За способом переміщення вантажів системи підйомно-транспортних машин підрозділяються на [33]:

- У тарі.
- Без тари.
- Орієнтовані.
- Навалом.

- Принцип руху

За принципом руху системи підйомно-транспортних машин підрозділяються на [14, 15]:

- Періодичні.
- Безперервні.
- **Конструктивне виконання**

За конструктивним виконанням СПТМ можна розділити на [33, 36]:

- Рейкові;
- Безрейковий.
- **Спосіб управління**

Можливі такі способи управління елементами СПТМ:

- З кабіни.
- Дистанційне керування.
- Автоматичне управління.
- Управління з підлоги.
- **Спосіб завантаження технологічного обладнання**
- Ручний.
- Механізований.
- Автоматичний.

За призначенням системи підйомно-транспортних машин переробних і харчових цехів та дільниць підрозділяються на *внутріцехові* і *міжопераційні* транспортні системи [17].

Внутріцехова СПТМ предназначена для своєчасної доставки сировини, матеріалів, напівфабрикатів, готової продукції та інших вантажів зі складу на необхідну виробничу ділянку і на склад з ділянок, а також для транспортування їх між ділянками.

Розглянемо ряд транспортних засобів, застосовуваних для внутрішньоцехового переміщення вантажів.

– **Крани**

Застосовувані в СПТМ вантажопідйомні крани підрозділяються на [27]:

- *Мостові електричні крани*. Застосовуються на вантажно-розвантажувальних роботах з різними вантажами (одичними, в пакетах, контейнерах тощо) при їх переміщенні, штабелюванні на відкритих майданчиках, в закритих складах, виробничих приміщеннях, естакадах.

- *Крани козлові* на рейковому ході. Призначені для виконання перевантажувальних, транспортних і монтажних робіт в цехах, промислових будівлях і під навісом.

- *Крани консольні* (колонні консольні крани, настінні консольні крани, стельові консольні крани). Консольні крани застосовуються для обслуговування обмежених площ, в т. ч. тих, що примикають до стін будівель або до інших споруд, навантаження і розвантаження транспорту, а також для передачі вантажів з одного прольоту будівлі в інший.

- Підвісний однорейковий транспорт

Застосовують для переміщення штучних і сипучих вантажів в тарі. Як елементи рухомого складу застосовують [27]:

- електроталі вантажопідйомністю $q = 0,5 \dots 10$ т, висотою підйому до 18 м та частотою вмикання до 120 в годину;

- електротягачі, розраховані на важкий режим роботи, розвивають тягове зусилля до 500... 3200 Н, швидкість переміщень 16 ... 125 м / хв.

- Транспортери і конвеєри

Конвеєром називають машину для безперервного транспортування виробів. Відмінною рисою багатьох конструкцій конвеєрів, поряд з виконанням функцій по переміщенню, є можливість утворення невеликих міжопераційних заділів, що забезпечують незалежну роботу складних верстатів. Є конструкції конвеєрів, які при транспортуванні здійснюють розподіл заготовок на кілька потоків. Вибір конвеєра залежить від типу складських приміщень, поверховості складських будівель, видів складованих вантажів [27].

Крокові конвеєри. Застосовуються для збірки великогабаритних машин типу верстатів в поточному виробництві, дозволяють здійснювати точні вимірювання при складанні.

Стрічкові конвеєри. Призначені для транспортування штучних вантажів в горизонтальному напрямку.

Пластинчасті конвеєри. В якості естакадного транспорту можуть використовуватися пластинчасті конвеєри. Вони застосовуються для транспортування штучних вантажів різної довжини в потоковому і непотоковому виробництві.

Роликові конвеєри. Дозволяють транспортувати продукцію масою до 200 кг. Ролики можуть бути вільного або примусового обертання. Роликові конвеєри можуть мати підйомні секції для проходу працюючих, підйомні столи, радіусні секції.

Підвісні штовхальні конвеєри. Дозволяють транспортувати вироби, що мають різні такти випуску. Крім того, штовхальні конвеєри застосовують якщо в технологічному процесі є лімітуючі операції, час виконання яких значно більше часу виконання всіх інших операцій.

Лоткові транспортуючі пристрої. В якості магістральних конвеєрів, а також для транспортування всередині ділянки штучних продуктів у формі тіл обертання та призматичної форми. В поточному виробництві знаходять використання лоткові транспортуючі пристрої. З їх допомогою продукція переміщається коченням під дією сили тяжіння, рідше - ковзанням.

- Транспортні роботи

Підлогові рейкові транспортні роботи. Застосовуються для забезпечення лінійних транспортних потоків переважно важких вантажів. За функціональними можливостями рейковий транспортний робот найбільш близький до конвеєрів, але його гнучкість набагато вища і він позбавлений більшості недоліків конвеєра (не обмежує доступ до верстатів, забезпечує зворотні вантажопотоки).

Підлогові безрейкові транспортні роботи (робокари). Мають наступні переваги перед усіма іншими транспортними роботами - підвищена гнучкість і мобільність транспортних ліній.

– Підйомники

Підйомником називають машину для вертикального транспортування продукції. За способом транспортування підйомники поділяють на підйомники безперервної і переривчастої дії [27].

Підйомники безперервної дії

Ланцюгові підйомники застосовуються для переміщення штучних та сипких вантажів.

Вібраційні підйомники використовують для переміщення дрібних штучних порцій та насипної продукції.

Основними недоліками підйомника є: необхідність заповнення всієї траси лотка продукцією, а також виникнення при роботі сильного шуму і вібрації.

Підйомники переривчастої дії

Штовхальні підйомники застосовують для переміщення штучних виробів типу на невелику висоту (до 1 м).

Кроковий підйомник використовують для переміщення великих вантажів та порцій насипної сировини.

Міжопераційна транспортна система на виробничих ділянках призначена для доставки сировини, матеріалів, напівфабрикатів або готових продуктів в необхідний момент часу на необхідне обладнання, знімання напівфабрикатів або готової продукції з обладнання з подальшим транспортуванням до заданої адреси, відправки в накопичувач і з накопичувача на задану адресу в необхідний момент часу.

- Пристрої для міжопераційного транспортування

Рухома тара, скати, склизи

Найпростішими пристроями для міжопераційного транспортування є *різновиди рухомої тари ящикового типу на ковзанках, скати та склизи.*

При невеликих обсягах виробництва для міжопераційних передач дрібних і середніх за розмірами штучних вантажів використовуються *візки* різного типу, такі як [27]:

- рейкові візки;
- безрейкові візки.

Підвісні транспортні роботи

Підвісні транспортні роботи поділяються на монорейкові та порталні [27].

- Монорейкові транспортні роботи. Випускаються на базі тельферних візків, в яких розташований підйомник із захватним пристроєм.

- Портальні транспортні роботи. Використовуються для стикування пристроїв транспортної системи з технологічним обладнанням. Крім міжопераційного транспортування виробів вони здійснюють завантаження сировини та матеріалів на обладнання та розвантаження з нього готової продукції.

2.2 Визначення необхідної продуктивності та кількості одиниць підйомно-транспортного обладнання

У технологічній системі промислового підприємства постійно функціонують основні грузопотоки: надходження вантажів на склад з зовнішнього (автомобільного і залізничного) транспорту або відправлення зі складу на зовнішній транспорт, а також вантажопотоки відправлення зі складу у виробництво або надходження звідти продукції.

Загалом необхідна кількість підйомно-транспортного обладнання для обслуговування технологічної системи визначається за такою формулою [30, 41]:

$$n_p = \sum_1^{Z_{\text{гр}}} (Q_{pi} / q_{zi}) \quad (2.1)$$

де $Z_{гр}$ - число вантажопотоків, одночасно обслуговуваних СПТМ; Q_{pi} - розрахункова величина i -го вантажопотоку, т / год; q_{ei} – експлуатаційна продуктивність одиниці обладнання СПТМ на i -м вантажопотоці, т / год.

Розрізняють теоретичну $q_{теор}$, технічну $q_{тех}$ та експлуатаційну q_e продуктивності підйомно-транспортних машин [30]. Теоретична (або розрахункова) продуктивність являє собою кількість вантажів, яка може переробити машина за 1 год при найкращій організації праці, при повному використанні її за часом і вантажопідйомністю.

В реальних умовах експлуатації вантажопідйомність машини не завжди використовується на 100%. Це враховується при визначенні технічної продуктивності за допомогою коефіцієнта використання вантажопідйомності $\kappa_{Г}$ [42]

$$\kappa_{Г} = \frac{P_{с}}{P_{н}};$$

$$q_{тех} = q_{теор} \cdot \kappa_{Г} \cdot t_{см},$$

де $P_{с}$, $P_{н}$ - відповідно фактична маса вантажу, захоплювана машиною, і її номінальна вантажопідйомність, т; $t_{см}$ - тривалість зміни, год.

Обліковий склад обладнання [44]:

$$n_{с} = 1,15 \cdot n_{р},$$

де $n_{р}$ - кількість одиниць обладнання СПТМ, необхідна для роботи.

Нижче наведено методику визначення розрахункових годинних вантажопотоків. Так, для вантажів, що відправляються зі складів в технологічні цехи або надходять з цехів на склад, годинна інтенсивність вантажопотоку (т / год) [44]:

$$Q_{О}^T \text{ и } Q_{П}^T = \sum_1^m \left(\overline{Q}_i^T K_T \right) / (Z_C t_{см}) \quad (2.8)$$

де m - число вантажопотоків, що розрізняються, наприклад, за типорозміру транспортної тари; Q_i^T - середньодобовий вантажопотік j -го вантажу, що надходить з цеху на склад або відправляється зі складу в цех, т / добу (нетто); K_T – часовий коефіцієнт нерівномірності роботи технологічних

цехів підприємства (в межах розглянутого періоду роботи підприємства); $K_T = 2,1 \dots 3,1$, якщо немає інших спеціальних вказівок; Z_C - число змін роботи складу на добу, зм / добу (Z_C може не дорівнювати числу змін роботи технологічних цехів; зазвичай $Z_C = 2,1$ або, рідко, 3 зм / добу); t_{CM} - число годин роботи складів за зміну ($t_{CM} = 8$ год / зміну).

Вантажі, що відправляються зі складів (наприклад, готова продукція) на зовнішній транспорт або, що надходять з нього на склад (сировина), мають годинну інтенсивність в залежності від виду та умов роботи зовнішнього транспорту. Для вантажопотоків, пов'язаних з обслуговуванням автомобілів (т / год), [44]:

$$Q_O^a \text{ и } Q_{II}^a = \frac{\sum_1^m (\overline{Q_i^a} \cdot K_{СУТ})}{t_c} \quad (2.9)$$

де Q_i^a - середньодобовий вантажопотік i -го вантажу, що відправляється зі складу автотранспортом або надходить на склад тим же способом, т / год; $K_{СУТ}$ - добовий коефіцієнт нерівномірності роботи автомобільного транспорту; t_3 - число годин роботи зовнішнього автотранспорту на добу, год / добу (як правило, $t_3 = 8$ або 10 год / добу, в окремих випадках $t_3 = 16$ або 20). Якщо вантажопотоки обслуговуються однотипним обладнанням (наприклад, електронавантажувачами) можливе суміщення за часом обслуговування всіх трьох видів вантажопотоків. Тоді при розрахунку загального обсягу робіт можна прийняти вантажопотоки зовнішнього автотранспорту і міжцехового за середнім значенням, тобто без урахування коефіцієнтів нерівномірності. При цьому сумарний розрахунковий вантажопотік (т / год) [43]:

$$\sum Q = Q_{O(II)}^B + \sum_1^m \overline{Q_i^a} / t_c + \sum_1^m \overline{Q_i^T} / (Z_C \cdot t_{CM}), \quad (2.10)$$

Продуктивність основного підйомно-транспортного устаткування, що обслуговує комплекс, визначається залежно від типу обладнання. Якщо в комплексі застосовуються конвеєрні системи, то їх технічна продуктивність визначається параметрами цих машин і не залежить від місцевих умов їх

роботи. При обслуговуванні комплексу, в якому переміщують штучні вантажі, застосовують основне підйомно-транспортне обладнання періодичної дії, технічна продуктивність якого залежить від місцевих умов, головним чином від відстані переміщення вантажів. Експлуатаційна продуктивність машин періодичної дії на i -му вантажопотоці (т / год, нетто) визначається за формулою [42]:

$$q_{\text{эi}} = q_i \cdot K_{\text{ВР}}, \quad (2.11)$$

де q_i - технічна продуктивність машини, т / год (нетто); $K_{\text{ВР}}$ - коефіцієнт використання машини за часом (приймають $K_{\text{ВР}} = 7,0 \div 8,0$). Технічна продуктивність машини визначається за формулою [43]:

$$q_i = \frac{60 \cdot G_i}{T_i}, \quad (2.12)$$

де G_i - маса вантажу, т, об'єм, м³, або число одиниць корисного вантажу, що перевантажується краном за один цикл; T_i - час циклу машини, хв.

Продуктивність машин періодичної дії (од. / год) визначається за формулою [43]:

$$q_i = \frac{60}{T_i} \quad (2.13)$$

В кінцевому вигляді формула (2.7) приймає такий вид [40]:

$$n_{\text{р}} = \sum_1^{Z_{\text{ГР}}} \left(\frac{\sum_1^m (\overline{Q_i^T} K_{\text{T}}) \cdot T_i}{Z_{\text{С}} \cdot t_{\text{СМ}} \cdot 60 \cdot G_i \cdot K_{\text{ВР}}} \right).$$

У ряді робіт [17, 26, 33] кількість необхідних підйомно-транспортних засобів визначається на підставі машиноємності транспортних операцій. Даний підхід аналогічний представленому в даній роботі. Спосіб визначення теоретичної продуктивності залежить від типу підйомно-транспортної машини і виду маршруту руху транспортного засобу. Для машин циклічної

дії (крани прольотні та консольні, вилкові навантажувачі та інші) теоретична продуктивність визначається за формулою [44]:

$$q_{\text{теор}} = \frac{3600}{T_i} \cdot P_H \quad (2.14)$$

Час руху підйомно-транспортних машин визначається [40]:

$$t_{\text{дв}} = \frac{L}{V},$$

де L - середня довжина шляху, м; V - швидкість руху, м / хв.

Час циклу основних підйомно-транспортних машин представлено в таблиці 2.1 [40, 42].

Таблиця 2.3 - Час циклу основних підйомно-транспортних машин СПТМ [40]

№	Підйомно-транспортне обладнання	Формула розрахунку часу циклу підйомно-транспортної операції
1	Пролітні крани (мостові, козлові)	$T_{\text{п.к.}} = t_3 + t_0 + \varphi \cdot \left(\frac{2 \cdot H_{\text{п}}}{V_{\text{п}}} + \frac{2 \cdot l_{\text{т}}}{V_{\text{т}}} + \frac{2 \cdot l_{\text{к}}}{V_{\text{к}}} + \frac{2 \cdot H_{\text{о}}}{V_{\text{п}}} \right)$
2	Електро-навантажувачі	$T_{\text{э.п.}} \cong 0,018 \cdot \bar{l} + 0,2 \cdot h_{\text{к}} + 1,5$
3	Мостові крани-штабелери	$T_{\text{м.к.ш.}} = \frac{1,05}{V_{\text{к}}} (Y \cdot l_{\text{я}} + l_{\text{о}}) + \frac{1}{V_{\text{п}}} (Z - Z_{\text{п}}) h_{\text{я}} (1 - \varphi) + \frac{1}{\varepsilon V_{\text{т}}} (l_{\text{м}} + 2 \cdot b_{\text{я}}) + \frac{1}{2 \cdot n_{\text{вп}}} + 0,4$
4	Стелажні крани-штабелери з ручним керуванням	$T_{\text{с.к.ш.}} = \left(\frac{1,05}{V_{\text{к.с}}} \right) \cdot (Y \cdot l_{\text{я}} + l_{\text{о}}) + \frac{1}{V_{\text{п}}} [(Z - Z_{\text{п}}) \cdot h_{\text{я}} + 0,4] (1 - \varphi) + \frac{4 \cdot b_{\text{я}}}{V_{\text{т}}} + 0,4$
5	Стелажні крани з автоматичним управлінням	$T_{\text{с.к.а}} = \max \left[(1,05 / V_{\text{к.с}}) (Y \cdot l_{\text{я}} + l_{\text{о}}); \frac{1}{V_{\text{п.с}}} (Z - Z_{\text{п}}) \cdot h_{\text{я}} \right] + \frac{4 \cdot b_{\text{я}}}{V_{\text{т}}} + 0,1$
6	Стрілові крани	$T_{\text{с.к.}} = t_3 + t_0 + \varphi \left(\frac{2 \cdot l}{V_{\text{д}}} + \frac{2 \cdot H_{\text{н}}}{V_{\text{п}}} + \frac{2 \cdot H_{\text{к}}}{V_{\text{п}}} + \frac{\alpha^0}{180\omega} + \frac{l_{\text{с}}}{V_{\text{с}}} \right)$

У таблиці 2.1: t_3 і t_0 - час захоплення і звільнення від вантажу; H_{Π} , H_0 - середня висота підйому і опускання вантажу, м; l_{Γ} , l_{κ} - середня відстань переміщення візка і моста крана за цикл, м; V_n , V_{Γ} , V_{κ} - швидкості підйому вантажу, переміщення візка і моста крана, м / с; φ - коефіцієнт суміщення операцій (приймають - $\varphi = 0,85$); l - середня відстань підйому вил при установленні вантажу, м; V_n , V_{Γ} , V_{κ} - швидкість відповідно крана, вантажопідйомника та візка, м / хв; Y та φ - коефіцієнт суміщення операцій підйому з переміщенням крана; ε - коефіцієнт, що залежить від місця подачі вантажу в зону крана: при подачі вантажу напроти крайнього стелажа $\varepsilon = 1,0$; при подачі вантажу в середину прольоту $\varepsilon = 0,5$; l_M - довжина моста крана, м; $n_{\text{ВР}}$ - частота обертання колони крана, об / хв; $V_{\kappa.с}$ і $V_{\Pi.с}$ - швидкості руху і підйому стелажного крана м / с; V_{Γ} - швидкість руху вантажозахвата в глибину осередку, м / хв; l - середня відстань переміщення крана, м; V_d - середня швидкість руху крана, м / с; H_H , H_{κ} - середня висота підйому і опускання вантажозахвату в пункті захоплення вантажу і звільнення від нього, м; V_{Π} - швидкість підйому вантажу, м / с; V_3 - швидкість горизонтального руху вантажозахвату при зміні вильоту стріли (при її повороті у вертикальній площині), м / с; l_3 - середня величина зміни вильоту стріли при переміщенні вантажу, м; α^0 - середній кут повороту крана при переміщенні вантажу, град.; ω - частота обертання стріли крана в горизонтальній площині, 1 / с, ($\omega = 0,025 \dots 0,04$ 1 / с). Для інших типів вантажопідіймальних машин періодичної дії тривалість циклу залежить від схеми руху і визначається за формулами, представленим в таблиці 2.2 [42].

Таблиця 2.2 - Час циклу інших підйомно-транспортних машин СПТМ

№	Схема руху	Формула розрахунку
1	одностороння	$t_{\text{о.д.}} = t_{\text{дв}} + t_{\text{погр}} + t_{\text{раз}} + t_3$
2	маятникова	$t_{\text{м.д.}} = t_{\text{дв}} + 2 \cdot (t_{\text{погр}} + t_{\text{раз}}) + t_3$
3	кільцева	$t_{\text{к.д.}} = t_{\text{дв}} + m \cdot t_{\text{погр}} + n \cdot t_{\text{раз}} + t_3$

В таблиці 2.2: $t_{дв}$ - час руху, хв; $t_{погр}$ - час навантаження, хв; $t_{раз}$ - час розвантаження, хв; t_3 - час затримки, хв; m - дорівнює 1 при згасаючому вантажопотоці; n - дорівнює 1 при наростаючому вантажопотоці. Розглянемо питання визначення необхідної кількості підйомно-транспортного обладнання для СПТМ.

Число кранів загальноцехового призначення визначається за формулою [42]:

$$N = \frac{N_{оп} \cdot T_{кр}}{T_{см} \cdot K_3 \cdot K_O}, \quad (2.15)$$

де $N_{оп}$ - число кранових операцій в зміну; $T_{кр}$ - середній час на одну кранову операцію, хв; $T_{см}$ - тривалість зміни, хв; K_3 - коефіцієнт завантаження ($K_3 = 7,0 \dots 0,8$); K_O - коефіцієнт одночасності, що враховує скорочення часу циклу при поєднанні декількох операцій ($K_O = 1,1$).

Число кранових операцій в зміну визначається за формулами [43]:

$$N_{оп} = \frac{Q \cdot n}{D \cdot m \cdot g}, \quad (2.16)$$

$$N_{оп} = \frac{R \cdot n}{D \cdot m \cdot r}, \quad (2.17)$$

де Q - маса вантажів, транспортованих на окремій ділянці за рік, т; n - середнє число кранових операцій на один вантаж (сировина, матеріал, напівфабрикат, готовий продукт); D - число робочих днів у році; m - число змін роботи крана на добу; g - середня маса одиниці вантажу, переміщуваного краном за одну операцію, т; R - число вантажів на річну програму, що транспортуються на даній ділянці; r - середня кількість вантажів, що переміщується краном за одну операцію. Середній час на одну кранову операцію визначають за формулою [43]:

$$T_{кр} = \frac{L}{V} + T_{П} + T_{Р}, \quad (2.18)$$

де L - середня довжина пробігу крана в обидва кінця за одну операцію, визначається довжиною ділянки або прольоту, м; V - середня швидкість руху

крана - не більше 50 м / хв; T_{Π} - час навантаження однієї транспортної партії, хв; T_p - час розвантаження однієї транспортної партії, хв.

Кількість одиниць наземного транспорту при односторонній маятниковій системі перевезень визначається як [44]:

$$N = \frac{Q \cdot K_H \cdot \left(\frac{L}{V} + T_{\Pi} + T_p\right)}{60 \cdot q \cdot K_{\Gamma} \cdot \Phi \cdot K_B}, \quad (2.19)$$

де Q - вантажопотік, т / рік; K_H - коефіцієнт, що враховує нерівномірність вантажопотоку і невраховані втрати часу (1,2 ... 1,3); L - довжина пробігу транспорту в обидва кінці, м; V - швидкість руху транспорту (не більше 80 м / хв); T_{Π} - час навантаження однієї транспортної партії, хв; T_p - час розвантаження однієї транспортної партії, хв; q - номінальна вантажопідйомність транспортного засобу, т; K_{Γ} - коефіцієнт використання вантажопідйомності (0,6 ... 0,95); Φ - номінальний річний фонд часу роботи транспортного обладнання, год; K_B - коефіцієнт використання транспортних засобів (0,6 ... 0,9). При двосторонній маятниковій системі перевезень число транспортних засобів визначається за формулою [45]:

$$N = \frac{Q \cdot K_H \cdot \left(\frac{L}{V} + 2(T_{\Pi} + T_p)\right)}{120 \cdot q \cdot K_{\Gamma} \cdot \Phi \cdot K_B}. \quad (2.20)$$

При кільцевій системі перевезень [45]:

$$N = \frac{\sum(Q) \cdot K_H \cdot \left(\frac{L}{V} + \sum(T_{\Pi}) + \sum(T_p)\right)}{60 \cdot q \cdot K_{\Gamma} \cdot \Phi \cdot K_B \cdot n}, \quad (2.21)$$

де $\sum(Q)$ - сумарний вантажопотік по всьому маршруту, т; $\sum(T_{\Pi})$ - сумарний час навантажувальних операцій по всьому маршруту, хв; $\sum(T_p)$ - сумарний час розвантажувальних операцій по всьому маршруту, хв; n - число пунктів навантаження-розвантаження.

Необхідна для роботи СПТМ кількість електронавантажувачів, які обслуговують всі ділянки комплексу, визначається за формулою [40]:

$$\sum n_{\text{э/п}} = n_{\text{ф.а}} + n_{\text{х.о}} + n_{\text{х.п}},$$

де $n_{ф.а}$ - число навантажувачів, які обслуговують фронт навантаження в автомобілі; $n_{ф.А} = n_{о.А}$, тут $n_{о.А}$ - число одночасно обслуговуваних автомобілів $n_{х.п}$ та $n_{х.о}$ - кількість електронавантажувачів та електроштабелерів, необхідне для обслуговування зони обслуговування при надходженні вантажу до неї і відправки звідти.

2.3 Формування альтернативних варіантів систем підйомнотранспортних машин

Для формування узагальненої структури СПТМ автором пропонується використовувати N-частковий граф, докладно описаний в першому розділі. Як було сказано в п. 1.1.3, N-частинним називається граф виду $G = (X, R)$, де множина вершин X розбита на сукупність непересічних підмножин $X_1 \cup X_2 \cup \dots \cup X_N$, а з існування ребра $r = (z, y)$ слідує, що інцидентні ребру вершини належать різним підмножини, т. е. $z \in Z; y \in Y; Z, Y \subseteq X$ і $Z \neq Y$. Підмножини виду X_i прийнято називати частками графа (рисунок 2.1) [19, 40]. З визначення випливає, що всі частки є незалежними множинами вершин.

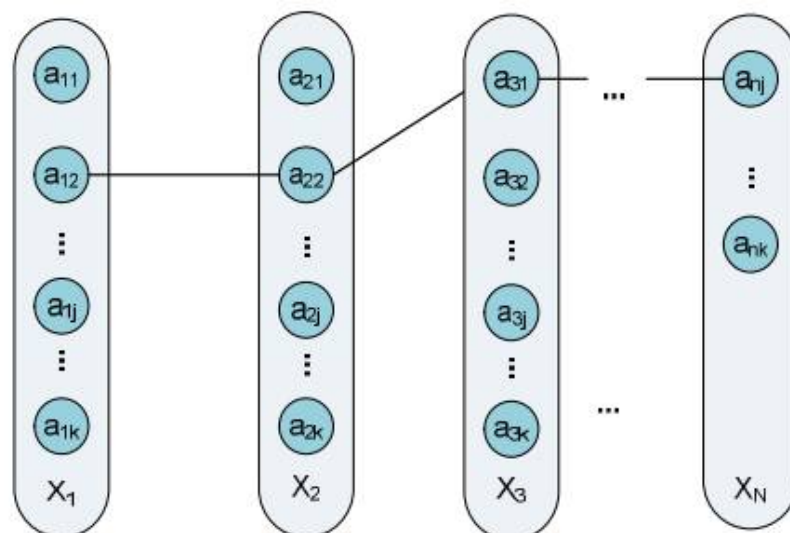


Рисунок 2.5 - N-частковий граф [40]

Відповідно, вирішальний граф (варіант системи підйомнотранспортних машин) повинний бути повним, оскільки він не може містити

заборонені пари вершин. Щоб система підйомнотранспортних машин відповідала своєму призначенню, вона має виконувати всі основні технічні підфункції, які представлені частками графа. Вибір будь-якої вершини з частки забезпечує реалізацію відповідної технічної підфункції. Це означає, що кількість вершин у вирішальному графі повинно збігатися з числом часток, яке дорівнює N .

Тому на формування варіантів СПТМ методом N -часткового графа накладається обмеження g_1 [42]:

$$g_1 = G_{1.1} \wedge G_{2.1} \wedge G_{3.1} = 1, \quad (2.26)$$

де $G_{1.1}$, $G_{2.1}$, $G_{3.1}$ - обмеження на вирішальний граф (мають значення: 1 - при виконанні обмеження, 0 - в іншому випадку), \wedge - знак операції логічного множення.

$G_{1.1}$ - обмеження, яке відповідає за те, щоб кількість вершин в вирішальному графі збігалася з кількістю часток N -часткового графа [43]:

$$\sum_{i=1}^N \sum_{j=1}^{k_i} a_{ij} = N, \quad (2.27)$$

де k_i - кількість вершин в i -й частці графа, i - номер частки графа ($i = 1, \dots, N$), j - номер вершини в i -й частці графа ($j = 1, \dots, k_i$).

У виразі (2.27):

$$\begin{aligned} a_{ij} &= 1, \text{ якщо вершина входить у вирішальний граф,} \\ a_{ij} &= 0, \text{ в іншому випадку} \end{aligned} \quad (2.28).$$

$G_{2.1}$ - обмеження, що забезпечує вибір з кожної частки N -часткового графа єдино] вершини [44]:

$$\forall i \sum_{j=1}^N a_{ij} = 1, \quad (2.29)$$

де квантор $\forall i$ читається як «для всіх часток i ».

$G_{3.1}$ - обмеження, яке відповідає за те, щоб вирішальний граф складався тільки з сумісних вершин N -часткового графа [40]:

$$\sum_{t=1}^N \sum_{z=1, t \neq z}^{N-1} S_{tz} = \frac{n!}{r!(n-r)!}, \quad (2.30)$$

де $\sum_{t=1}^N$ - сума t-елементів вирішального графа, $\sum_{z=1}^{N-1}$ - сума z-елементів вирішального графа, $t = 1 \dots N$, $z = 1 \dots N$, $N - 1$ - умова, що виключає підсумовування одного елемента двічі, S_{tz} - матриця сумісності t і z елементів вирішального графа, C_n^r - число r-поєднань з n вершин, що утворюють вирішальний граф (в нашому випадку порівнюються поєднання двох вершин, а $n = N$).

Матриця сумісності має вигляд:

$S_{tz} = 1$, якщо t-я і z-я вершини вирішального графа сумісні,

$S_{tz} = 0$, в іншому випадку.

Можливий варіант СПТМ, сформований за допомогою N-часткового графа, набуває вигляду [43]:

$$a = \{a_{1.1} \ a_{2.2} \ a_{3.2} \ \dots \ a_{5.1} \ \dots \ a_{8.1} \ \dots \ a_{15.8}\}. \quad (2.31)$$

Прикладом оцінки сумісності вершин вирішального графа може служити порівняння таких можливих вершин, як «безрейкове» виконання СПТМ ($t = 6$) і використання такого транспортного засобу як «мостовий кран» ($z = 10$). В цьому випадку $S_{6 \ 10} = 0$.

3 ОЦІНКА ТА ВИБІР ВАРІАНТУ СИСТЕМИ ПІДЙОМНО- ТРАНСПОРТНИХ МАШИН

3.1 Критерій оптимальності варіанта системи підйомно-транспортних машин

Оснoву розробки будь-якого технічного проекту утворює його техніко-економічне обґрунтування. Воно повинно проводитися на базі комплексного аналізу шляхом порівняння з варіантом, прийнятим в якості базового [18-20].

Комплексний аналіз включає розгляд технічної, організаційної, соціальної та економічної доцільності застосування конкретного проєктованого варіанта системи. Проведення оцінки оптимальності варіантів окремо за технічними, організаційними і соціальними показниками має досить вузьку сферу застосування, так як самі по собі вони не дають прямої відповіді на питання про порівняльну ефективність того чи іншого варіанту. Природа цих показників різна, і, як правило, поліпшення одних показників за спрощеним варіантом супроводжується погіршенням інших. Об'єктивну узагальнюючу характеристику переваг і недоліків одного варіанта перед іншим дає тільки економічний аналіз [11].

Техніко-економічний рівень і схеми комплексної механізації та автоматизації транспортних процесів, традиційно оцінюють на основі аналізу значень загальних або окремих цільових функцій оптимізації. При цьому в якості загальних цільових функцій використовують критерії, розглянуті в першому розділі. В якості окремих цільових функцій зазвичай розглядають чисельність персоналу, тривалість виробничого циклу, обсяг незавершеного виробництва тощо. Найбільш точну оцінку в цьому сенсі дають наведені витрати. В даній роботі для оцінювання варіантів систем підйомно-транспортних машин в якості критерію оптимальності запропоновано використовувати суму приведених витрат на створення і експлуатацію СПТМ (Z_{Σ}) і витрат від простою обладнання [40]:

$$\mu = Z_{\Sigma} = C + E_H K + J, \quad (3.1)$$

де C - річні експлуатаційні витрати (собівартість робіт) по варіанту; K - прямі капітальні вкладення у виробничі фонди; E_H - нормативний коефіцієнт ефективності капітальних вкладень; J - витрати від простою технологічного обладнання.

Тут і далі під простоем технологічного обладнання розуміється час, протягом якого не відбувається безпосередньої обробки продукції, а технологічне обладнання знаходиться у стані завантаження сировини (напівфабрикатів), їх розвантаження, очікування початку або закінчення транспортування сировини (напівфабрикатів) системою підйомно-транспортних машин.

Запропонований критерій оптимальності являє собою частину наведених витрат на створення і експлуатацію цеху (ділянки) харчового або переробного підприємства, що залежить від його системи підйомно-транспортних машин. Саме цей критерій на стадії передпроектного дослідження та ескізного проектування в найкращій мірі відображає проблему вибору оптимальної СПТМ, оскільки через продуктивність системи підйомно-транспортних машин і аналіз конструктивно-технологічних обмежень на застосування СПТМ враховуються основні технічні вимоги, а економічні показники можуть бути оцінені за допомогою аналізу структури собівартості і капітальних вкладень [12-14].

Ухвалення в якості основного економічного критерію оптимальності СПТМ мінімуму наведених витрат обумовлено тим, що значення параметрів, які оптимізуються, за отриманими критеріями наведених витрат і економічного ефекту, практично не відрізняються, але для оптимізації краще вибір критерію мінімуму наведених витрат, оскільки він не залежить від параметрів базового варіанту [15, 16]. Необхідно відзначити, що проектування компоувальних структур ВС при відомому складі основного технологічного обладнання передбачає здійснювати облік в складових наведених витрат лише тих факторів, на які впливає вибір типу СПТМ, підйомно-транспортних засобів і структури самого виробництва.

3.1.1 Складові собівартості при проектуванні системи підйомно-транспортних машин

У загальному випадку собівартість складається з витрат праці, уречевленої в використовуваних засобах виробництва, і частини живої праці. Залежно від того, за якими елементами витрат розрізняються варіанти, що зіставляються, потрібно розрахувати повну, виробничу, цехову або технологічну собівартість [17].

При формуванні структури парку підйомно-транспортних машин СПТМ основних та допоміжних цехів і дільниць переробних і харчових підприємств найбільш придатною є технологічна собівартість, так як поза виробничі витрати, витрати на підготовку і освоєння виробництва, витрати, зумовлені браком, загальнозаводські витрати і витрати на матеріали на стадії передпроектного аналізу незначні і тому можуть бути віднесені до групи констант, які не впливають на результат при зіставленні варіантів.

Технологічна собівартість визначається виразом [11, 12, 17, 40]:

$$C = C_{\alpha} + C_{ЗП} + C_{р} + C_{Е} + C_{к}, \quad (3.2)$$

де C_{α} - сума амортизаційних відрахувань на капітальний ремонт; $C_{ЗП}$ - витрати на заробітну плату; $C_{р}$ - витрати на поточний ремонт; $C_{Е}$ - витрати на електроенергію; $C_{к}$ - витрати на приміщення.

Сума амортизаційних відрахувань на капітальний ремонт одиниць системи підйомно-транспортних машин (грн. / рік) [40]:

$$C_{\alpha} = a_{к} \cdot (C_{от-с} + K') \cdot \eta_{n1} \cdot \eta_{n2}, \quad (3.3)$$

де $a_{к}$ – норма амортизаційних відрахувань на капітальний ремонт обладнання СПТМ (приймається за таблицею 3.1 [18]); $C_{от-с}$ – ціна елементів СПТМ [42]

$$C_{от-с} = \sum_{i=1}^m C_{от-с}^{(i)},$$

де m - кількість одиниць обладнання, що входять в СПТМ; $C_{от-с}^{(i)}$ - ціна i -ї одиниці обладнання СПТМ; K' - додаткові витрати споживача машини (супутні капітальні витрати), включають транспортні витрати, заготівельно-

складські витрати і витрати на монтаж нової техніки, а також на спорудження пристроїв, необхідних для її використання (наприклад, підкранових шляхів, галерей, навісів), приймаються рівними $K = (17 \div 23\%) \cdot \text{Ц}_{\text{от-с}}$; η_{n1} і η_{n2} – поправочні коефіцієнти, значення η_{n1} і η_{n2} приймаються за таблицями 3.2 і 3.3 [40].

Таблиця 3.1 - Норми річних амортизаційних відрахувань на капітальний ремонт [40]

Тип машини	α_k
Конвеєри стрічкові скребкові пересувні	0,5
Конвеєри стрічкові пересувні з прогумованої стрічкою	0,333
Електронавантажувачі	
Конвеєри стрічкові пересувні:	
- пластинчасті загального призначення	0,2
- вібраційні (горизонтальні, вертикальні)	0,2
Конвеєри (стрічкові, підвісні, ковшові)	0,2
Засоби підйомно-транспортні інші (автонавантажувачі)	0,142
Підйомники, електрокари	0,142
Крани-штабелери	0,142
Устаткування підйомно-транспортне рухоме (крім автонавантажувачів)	0,142
Устаткування для транспортування вантажів інше	0,1
Устаткування для транспортування вантажів інше	0,05
Маніпулятори, вантажно-розвантажувачі та інші пристрої	0,5
Крани стаціонарні (мостові, порталні, козлові)	0,5
Конвеєри підвісні	0,5

Річні витрати на заробітну плату $C_{ЗП}$ (грн. / рік) визначають на основі [43]:

$$C_{ЗП} = T_{\phi} \cdot (O + Д + П + C_{\text{стр}}) \cdot 1,8 \cdot P_{\text{СП}}, \quad (3.4)$$

де T_{ϕ} - ефективний річний фонд робочого часу, год; 1,8 - коефіцієнт, що враховує виплати з суспільних фондів споживання; O - основна заробітна плата робітників (річна тарифна ставка); $Д$ - додаткова заробітна плата

робітників, включаючи оплату відхилень від нормальних умов роботи, за бригадирство і навчання учнів, за роботу в нічний час, понаднормові роботи, відпустку і т. п.; П - премії за кількісні і якісні показники роботи; $C_{стр}$ - відрахування на соціальне страхування; $P_{СП}$ – середньооблікова чисельність робітників.

Таблиця 3.2 - Поправочні коефіцієнти норми амортизаційних відрахувань η_{n1} в залежності від типу виробництва [41]

Тип виробництва	Масове і великосерійне	Серійне	Дрібносерійне і одиничне
Поправочний коефіцієнт	1,0	1,25	1,4

Таблиця 3.3 - Поправочні коефіцієнти норми амортизаційних відрахувань η_{n2} в залежності від змінності роботи обладнання [41]

Змінність	1 - 1,5	1,5 - 2,0	2,0 - 2,5	2,5 - 3,0
Поправочний коефіцієнт	0,97	1,0	1,06	1,25

При проведенні укрупнених розрахунків можна приймати [44]:

$$Д + П + C_{стр} = (0,3 \div 0,5) \cdot О = \eta_{зп} \cdot О .$$

Средньоспискова чисельність робітників визначається штатним розкладом або нормами обслуговування. Для СПТМ, при проведенні планових ремонтів службами підприємства, як $P_{СП}$ можна прийняти чисельність чергових слюсарів для міжремонтного обслуговування устаткування, яка визначається за формулою [45]:

$$P_{СП} = \frac{\sum R \cdot k}{H}, \quad (3.5)$$

де $\sum R$ - сума ремонтних одиниць устаткування, яке обслуговується; k – коефіцієнт змінності роботи обладнання; H – норматив міжремонтного

обслуговування на одного робітника (для підйомно-транспортного обладнання $H = 200$).

Річні витрати на ремонт обладнання C_p складаються з витрат на капітальний і поточний ремонт, а також на профілактичні огляди. Погашення витрат на капітальний ремонт, що проводиться рідше одного разу на рік, здійснюється за рахунок амортизаційних відрахувань. Річні витрати на поточний ремонт і профілактичні огляди (грн. / рік) визначаються наступним чином [42]:

$$C_p = \frac{100 \cdot W \cdot R \cdot k_e}{T_{pc} \cdot \beta_{\Pi} \cdot \beta_M \cdot \beta_y \cdot \beta_p \cdot \beta_T} \eta_p \quad (3.6)$$

де W - витрати на всі види планово-попереджувального ремонту за ремонтний цикл, що припадають на одиницю ремонтної складності основної частини даного виду обладнання; для підйомно-транспортного обладнання для навантаження [40]:

$$W = \begin{cases} 220 \text{ при } 1 \leq R \leq 15 \\ 300 \text{ при } R \geq 16 \end{cases},$$

R - група ремонтної складності основної частини даного обладнання; k_e - коефіцієнт, що враховує витрати на ремонт електричної частини обладнання (приймається $k_e = 3,1$); T_{pc} - тривалість ремонтного циклу основної частини обладнання (годину),

$T_{pc} = \beta_y 14000$ - крани мостові, ручні лебідки, кран-балки, ел. тельфери,

$T_{pc} = \beta_n 20400$ - стрічкові транспортери,

$T_{pc} = \beta_n 18000$ - всі види обладнання

β_n - коефіцієнт, що враховує тип виробництва:

$\beta_n = 1,5$ - одиничне і дрібносерійне виробництво,

$\beta_n = 1,3$ - серійне,

$\beta_n = 1,0$ - масове і багатосерійне;

β_M - коефіцієнт, що враховує оброблюваний матеріал (для підйомно-транспортного обладнання $\beta_M = 1$); β_y - коефіцієнт, що враховує умови експлуатації обладнання (для підйомно-транспортного обладнання $\beta_y = 1,75$);

β_p - коефіцієнт, що враховує величину основного параметра машини (для підйомно-транспортного обладнання $\beta_p = 1$); β_T - коефіцієнт, що враховує особливість масової характеристики обладнання (для підйомно-транспортного обладнання $\beta_T = 1,0$); η_p - поправочний коефіцієнт, що приймається рівним 0,67 для легкого режиму роботи, середнього - 1,0, важкого - 2,0 і вельми важкого - 3,5.

Витрати на електроенергію, паливо і мастило, споживані елементами системи підйомно-транспортних машин, визначаються часом їх роботи, нормою витрат палива або електроенергії і вартістю 1 т палива або 1 кВт · год електроенергії і визначаються як сума витрат по кожному з елементів СПТМ:

$$C_e = \sum_{i=1}^n C_e^n. \quad (3.7)$$

Витрата електроенергії або пального для окремої машини можна визначити за формулою [43]:

$$C_e = T_{\text{факт}} \cdot q \cdot p, \quad (3.8)$$

де $T_{\text{факт}}$ - фактичне число годин роботи механізму або машини в рік; q – норма витрати палива або електроенергії за одну годину роботи машини або механізму, кг або кВт; p - вартість 1 кг палива або кВт год електроенергії.

Для машин безперервної дії з електроприводом витрати електроенергії можна визначити за формулою [44]:

$$C_{\text{н.д.}}^e = T_{\text{факт}} \cdot P_{\text{ед}} \cdot K_N \cdot p, \quad (3.9)$$

де $P_{\text{ед}}$ - потужність електродвигуна, кВт; K_N – коефіцієнт використання потужності двигуна ($\eta = 0,8 - 0,9$). Для машин періодичної дії витрати на електроенергію визначається часом роботи окремих електродвигунів протягом циклу за формулою [44]:

$$C_e^{\text{п.д.}} = \left(\frac{P_1 \cdot K_{N1} \cdot t_1 + P_2 \cdot K_{N2} \cdot t_2 + \dots + P_n \cdot K_{Ni} \cdot t_n}{3600} \right) \cdot \frac{Q}{g} \cdot p, \quad (3.10)$$

де Q - кількість вантажу, що переробляється протягом року, т; g - кількість вантажу, переміщуваного за 1 цикл, т; P_i – потужність електродвигуна кожного окремого механізму, кВт; t_i - час роботи даного

електродвигуна протягом 1 циклу, с; K_{Ni} – коефіцієнт використання потужності електродвигуна (приймається за таблицею 3.4 [40]).

Таблиця 3.4 - Коефіцієнт завантаження електродвигунів за часом [40]

Тип обладнання	Тип виробництва		
	Одиничне і дрібносерійне	Серійне	Багатосерійне та масове
Талі електричні, крани	0,4	0,5	0,6
Конвеєри, транспортери	0,6	0,8	1,0
Електровізки	0,5	0,6	0,7

Для механізованих установок з двигунами внутрішнього згорання витрати на паливо визначаються в залежності від питомої витрати палива на 1 кВт · год (1 к.с.) за формулою [45]:

$$C_e^{M.Y.} = T_{\text{факт}} \cdot P_{\text{в.с.}} \cdot q \cdot p, \quad (3.11)$$

де $P_{\text{в.с.}}$ - потужність двигуна внутрішнього згорання установки, кВт; q - питома витрата палива, кг на 1 кВт · год; p - вартість 1 кг палива.

Витрати на приміщення (на амортизацію і ремонт, вентиляцію та прибирання і т. п.) розраховуються тільки в разі, якщо виробнича площа, необхідна під підйомно-транспортного обладнання є додатковою до тієї площі, яка виділяється під верстати, при розміщенні їх у відповідно до встановлених норм [12]. Тоді витрати на приміщення (грн. / рік) можна розрахувати за наступною формулою [40]:

$$C_k = \left(\sum_{i=1}^m S_{\text{TC}}^{(i)} - \sum_{j=1}^n S_{\text{CT}}^{(j)} \cdot (\eta_{\text{CT}}^{(j)} - 1) \right) \cdot k_f \cdot C_{\text{кр}} \quad (3.12)$$

S - власна площа i -го транспортного засобу, m^2 ; k_f - коефіцієнт, що враховує додаткову площу на одиницю допоміжного обладнання (для підйомно-транспортного обладнання $k_f = 1,5$); $S_{\text{TC}}^{(j)}$ - площа, яку займає

обладнання j -ї моделі, m^2 ; $\eta_{ст}^{(j)}$ - коефіцієнт, що враховує додаткову площу під j -а машина (приймається за таблицею 3.5 [12]); n - загальна кількість машин у складі ВС; $C_{кг}$ - річні витрати, пов'язані з використанням 1 m^2 виробничого приміщення (грн. / m^2):

$C_{кг} = 13,0$ - для крупносерійного і масового виробництва

$C_{кг} = 12,0$ - для одиничного і дрібносерійного виробництва.

Якщо при обчисленнях вийде $C_{кг} < 0$, то приймається $C_{кг} = 0$.

Таблиця 3.5 - Залежність коефіцієнта $\eta_{ст}$ від площі, займаної машинами

$S_{ст}, m^2$	$\leq 2,5$	2,6 / 5	5,1 / 9	9,1 / 14	14,1 / 20	20,1 / 40	40,1 / 75	> 75
$\eta_{ст}$	5	4,5	4	3,5	3	2,5	2	1,5

З урахуванням (3.3) - (3.12) формула (3.2) набуде вигляду [40]:

$$C = C_{от-с} \cdot a_k \cdot \eta_{m1} \cdot \eta_{m2} + \frac{T_{ф} \cdot O \cdot \eta_{зп} \cdot \sum R \cdot K}{111} + \frac{74,3 \cdot W \cdot R \cdot \eta_p}{T_{рц} \cdot \beta_{п}} + \sum_1^n C_e^n + 1,5 \cdot C_{кг} \left(\sum_{i=1}^m S_{ТС}^{(i)} - \sum S_{ст}^{(j)} \cdot (\eta_{ст}^{(j)} - 1) \right) \quad (3.13)$$

Такий підхід до аналізу складових собівартості вельми умовний, проте на ранніх стадіях процесу проектування системи підйомно-транспортних машин, коли структура ВС ще остаточно не визначена, більш точний аналіз навряд чи можна застосувати.

3.1.2 Складові капітальних вкладень при проектуванні систем підйомно-транспортних машин

При виборі компоувальної структури ВС з усіх складових капітальних витрат необхідно враховувати лише ті, на які впливає вибір конкретного варіанту СПТМ. В даному випадку такими будуть капітальні вкладення в систему підйомно-транспортних машин і в будівлі за умови, що виробнича площа, необхідна під підйомно-транспортне обладнання, не перекривається

додаткової площею, що виділяється під основне технологічне обладнання. Тоді прямі капітальні вкладення можна визначити наступним чином [1, 12, 17, 18, 40]:

$$K_{\text{ІПР}} = K_{\text{О}} + K_{\text{зд}}, \quad (3.14)$$

де $K_{\text{ІПР}}$ - капітальні вкладення в устаткування, потрібне за варіантом; $K_{\text{зд}}$ - те саме по будівлі.

Капітальні вкладення в обладнання $K_{\text{О}}$ для виробництв визначаються як сума вкладень за видами обладнання [40]:

$$K_{\text{О}} = K_{\text{ОТ-с}} + K_{\text{О еом}} + K_{\text{Оу}} + K_{\text{ое}}, \quad (3.15)$$

де $K_{\text{ОТ-с}}$ - капітальні вкладення в систему підйомно транспортних машин; $K_{\text{О еом}}$ - то ж в локальні і центральну ЕОМ; $K_{\text{Оу}}$ - те ж в засоби контролю і управління; $K_{\text{ое}}$ - те ж в енергетичне обладнання.

Як було сказано вище, при виборі компоновальної структури ВС з усіх складових капітальних витрат необхідно враховувати лише ті, на які впливає вибір конкретного варіанту СПТМ. Звідси [42]:

$$K_{\text{О}} = K_{\text{ОТ-с}}. \quad (3.17)$$

Капітальні вкладення в систему підйомно-транспортних машин можна розрахувати наступним чином [Be3] [43]:

$$K_{\text{ОТ-с}} = \sum_{i=1}^m C_{\text{ОТ-с}}^{(i)} \cdot (1 + \sigma_{\text{T}} + \sigma_{\text{с}} + \sigma_{\text{М}}), \quad (3.18)$$

де σ_{T} - коефіцієнт транспортно-заготівельних витрат, пов'язаних з придбаним обладнанням, ($\sigma_{\text{T}} = 0,05$ - для важкого обладнання, $\sigma_{\text{T}} = 0,1$ - для легкого обладнання); $\sigma_{\text{с}}$ - коефіцієнт, що враховує витрати на будівельні роботи, в тому числі улаштування фундаменту для обладнання [40]

$$\sigma_{\text{с}} = 0,02 - 0,08; \quad (3.19)$$

$\sigma_{\text{М}}$ - коефіцієнт, що враховує витрати на монтаж і освоєння обладнання

$$\sigma_{\text{М}} = 0,04 - 0,06. \quad (3.20)$$

Капітальні вкладення в будівлі визначаються за формулою [40]:

$$K_{\text{зд}} = S_{\text{ц}} \cdot Ц_{\text{з}}, \quad (3.21)$$

де $S_{\text{ц}}$ - площа цеху, м²; $Ц_{\text{з}}$ - вартість 1 м² виробничої будівлі.

Величину S_{Π} при проектуванні СПТМ можна розрахувати як суму [43]:

$$S_{\Pi} = S_{\text{скл}} + S'_{\text{ТС}}, \quad (3.22)$$

де $S_{\text{скл}}$ - площа, яку займає склад, м²; $S'_{\text{ТС}}$ - площа транспортної системи, що не перекривається додатковою площею, яка виділяється під обладнання, м² [44]:

$$S'_{\text{ТС}} = \sum_{i=1}^m S_{\text{ТС}}^{(i)} - \sum_{j=1}^n S_{\text{СТ}}^{(j)} \cdot (\eta_{\text{СТ}}^{(j)} - 1). \quad (3.23)$$

Якщо при обчисленні вийде $S'_{\text{ТС}} < 0$, то приймається $S'_{\text{ТС}} = 0$. Використовуючи залежності (3.11) - (3.23), отримаємо наступну формулу для обчислення прямих капітальних вкладень [45]:

$$K_{\text{пр}} = \sum_{i=1}^m \Pi_{\text{от-с}}^{(i)} \cdot (1 + \sigma_{\text{T}} + \sigma_{\text{С}} + \sigma_{\text{М}}) + \left(S_{\text{скл}} + \sum_{i=1}^m S_{\text{ТС}}^{(i)} - \sum_{j=1}^n S_{\text{СТ}}^{(j)} \cdot (\eta_{\text{СТ}}^{(j)} - 1) \right) \cdot \Pi_{\text{з}}, \quad (3.24)$$

Дана формула використовується для обчислення прямих капітальних вкладень в систему підйомно-транспортних машин цехів і діляниць підприємства харчової або переробної галузі.

3.1.3 Складові витрат від простою технологічного обладнання

Витрати від простою технологічного обладнання обчислюються за формулою [40]:

$$J = S \cdot F, \quad (3.25)$$

де S - час простою технологічного обладнання, хв.; F – середня вартість однієї хвилини простою технологічного обладнання. Сумарний час простою технологічного обладнання за рік визначається за формулою [40]:

$$S = \Phi - t_{\text{зан}}, \quad (3.26)$$

де $t_{\text{зан}}$ - середній час зайнятості технологічного обладнання за рік, хв; Φ - річний фонд робочого, хв.

Час зайнятості технологічного обладнання за рік визначається наступним чином [40]:

$$t_{\text{зан}} = \sum t_i^{\text{ТО}} \cdot L_i^{\text{ТО}}, \quad (3.27)$$

де t_i - середній час зайнятості i -го технологічного обладнання, хв.; L_i^{TO} - кількість виконаних заявок i -м технологічним обладнанням, од.

Середня вартість однієї хвилини очікування технологічного обладнання F визначається за формулою [40]:

$$F = \frac{\Pi_p}{N_p \cdot \Phi}, \quad (3.28)$$

де Π_p - обсяг товарної продукції за рік, грн.; N_p - чисельність працюючих на підприємстві, чол.; Φ - річний фонд робочого часу.

Використовуючи залежності (3.25) - (3.28), отримаємо наступну формулу для обчислення витрат від простою обладнання [41]:

$$J = \frac{(\Phi - (\sum t_i^{TO} \cdot L_i^{TO})) \cdot \Pi_p}{N_p \cdot \Phi}. \quad (3.29)$$

Тоді з урахуванням (3.13), (3.24) і (3.29) залежність (3.1) можна представити в наступному вигляді [41]:

$$\begin{aligned} Z_{\Sigma} = & \sum_{i=1}^m \Pi_{OT-C}^{(i)} \cdot a_k \cdot \eta_{n1} \cdot \eta_{n2} + \frac{T_{\Phi} \cdot O \cdot \eta_{3\Pi} \cdot \sum R \cdot K}{111} + \frac{74,3 \cdot W \cdot R \cdot \eta_p}{T_{pц} \cdot \beta_{\Pi}} + \sum_1^n C_e^n + \\ & + 1,5 \cdot C_{кг} \cdot \left(\sum_{i=1}^m S_{TC}^{(i)} - \sum_{j=1}^n S_{CT}^{(j)} \cdot (\eta_{CT}^{(j)} - 1) \right) + \frac{(\Phi - (\sum t_i^{TO} \cdot L_i^{TO})) \cdot \Pi_p}{N_p \cdot \Phi} + E_H \times \\ & \times \left(\sum_{i=1}^m \Pi_{OT-C}^{(i)} \cdot (1 + \sigma_T + \sigma_C + \sigma_M) + \left(S_{скл} + \sum_{i=1}^m S_{TC}^{(i)} - \sum_{j=1}^n S_{CT}^{(j)} \cdot (\eta_{CT}^{(j)} - 1) \right) \cdot Ц_3 \right) \end{aligned} \quad (3.30)$$

Таким чином розраховуються наведені витрати на СПТМ з урахуванням витрат від простою технологічного обладнання, які використовуються в якості цільової функції при оцінці згенерованих варіантів і виборі оптимального.

3.2 Методика оцінки згенерованих варіантів СПТМ

В результаті проведення синтезу варіантів системи підйомно-транспортних машин буде сформовано множина допустимих варіантів СПТМ. На наступному етапі проектування СПТМ елементи структур

сформованих варіантів зіставляються з реальними моделями підйомно-транспортних засобів, тим самим збільшуючи розмірність завдання вибору оптимального варіанту. Для вирішення даного завдання автором пропонується використовувати генетичний алгоритм [41-43].

3.2.1 Визначення функції пристосованості генетичного алгоритму

Генітичний алгоритм являє собою метод, що відображає природну еволюцію завдань оптимізації. «Генетичний алгоритм - це процедури пошуку, засновані на механізмах природного добору і наслідування. У них використовується еволюційний принцип виживання найбільш пристосованих особин» [30].

У генетичному алгоритмі найменшою неподільною одиницею біологічного виду, підданого дії факторів еволюції, є особина a_k^t , (індекс k позначає номер особи, а індекс t - деякий момент часу еволюційного процесу), яка в інтерпретації розв'язуваної задачі буде виступати в якості згенерованого варіанту системи підйомно-транспортних машин. В якості аналога особини a_k^t , в екстремальну задачу однокритеріальних вибору приймається довільне допустиме рішення $\bar{x} \in D$, з привласненим позначенням a_k^t . Найменшою неподільною одиницею, що характеризує в екстремальній задачі однокритеріальний вибір внутрішніх параметрів на кожному t -му кроці пошуку оптимального рішення, які змінюють свої значення в процесі максимізації (мінімізації) критерію оптимальності Q , є вектор керуючих змінних $\bar{x} = (x_1, x_2, \dots, x_n)$.

Для опису згенерованих варіантів СПТМ необхідно ввести два типи *варіабельних ознак*, що відображають якісні і кількісні відмінності між варіантами за ступенем їх вираженості [11]:

- *якісні ознаки* - ознаки, які дозволяють однозначно розділяти сукупність варіантів на чітко помітні групи;

- *кількісні ознаки* - ознаки, які виявляють безперервну мінливість, в зв'язку з чим ступінь їх вираженості можна охарактеризувати числом. Якісні

ознаки варіанту системи підйомно-транспортних машин a_k^t визначаються із символічної моделі екстремальної задачі однокритеріального вибору як кодування $s(\bar{x})$, що відповідає точці x з ім'ям a_k^t та її складові бінарні компоненти $s_1(\beta_1), s_2(\beta_2), \dots, s_n(\beta_n)$. Наведемо інтерпретацію цих ознак в термінах хромосомної теорії спадковості.

В якості *гена* (вершини N -часткового графа) – одиниці спадкового матеріалу, відповідального за формування альтернативних ознак варіанту СПТМ, в хромосомній теорії спадковості позначимо комбінацію $s_i(\beta_i)$, яка визначає фіксоване значення цілочисельного коду керуючої змінної x_i . Кожен варіант СПТМ характеризується n вершинами N -часткового графа, а структуру рядка $s(\bar{x}) = (s_1, s_2, \dots, s_n)$ можна інтерпретувати *хромосомою* (вирішальним графом), що містить n зчеплених між собою вершин N -часткового графа, які слідують одна за одною у строго визначеній послідовності.

Позначимо χ_k^t значення вершини вирішального графа варіанту системи підйомно-транспортних машин a_k^t :

$$\chi_k^t = \chi(a_k^t) = (\chi_1(a_k^t), \chi_2(a_k^t), \dots, \chi_n(a_k^t)) = s(\bar{x}) = (s_1, s_2, \dots, s_n).$$

Згідно хромосомної теорії спадковості передача генетичної інформації буде здійснюватися через значення вершин вирішального графа від «батьків» до «нащадків».

Місцезнаходження певної вершини в самому вирішальному графі називається *локусом*, а альтернативні форми однієї і тієї ж вершини вирішального графа, розташовані в однакових місцях у графі, називаються *алелями* (*аллелеформами*). Вершина вирішального графа, заповнена конкретними значеннями, називається *генотипом*. Генотип - це строкове кодування, що складається з символів бінарного алфавіту. Кодування $s(\bar{x}) \in S$ відповідає рішенню вихідної задачі $\bar{x} \in D$. Кінцева множина всіх можливих вершин вирішального графа утворює *генофонд* (*genofound*). У завданні пошуку оптимального варіанту

СПТМ генофонд збігається з простором пошуку оптимального варіанта системи підйомно-транспортних машин S .

При взаємодії варіанти СПТМ із зовнішнім середовищем його строкове кодування породжує сукупність зовні спостережуваних кількісних ознак характеристик $\gamma_1, \gamma_2, \dots, \gamma_m$, що називаються *фенотипом* $\gamma(a_k^t)$.

За допомогою критерію оптимальності Q , можна отримати оцінку фенотипу, яку можна інтерпретувати як *приспосованість* μ варіанти СПТМ a_k^t . Під приспосованістю варіанту системи підйомно-транспортних машин μ прийнято розуміти схильність цього варіанта виживати і відтворюватися в конкретному зовнішньому середовищі, значення якого зазвичай запам'ятовується для кожного з варіантів СПТМ.

Таким чином *мета еволюційного розвитку* варіантів СПТМ зводиться до визначення такої хромосоми, вираженою строковим кодуванням, що належить кінцевій множині всіх варіантів, яка забезпечує найбільшу приспосованість до зовнішнього середовища. Як *ареал* - області, в межах якої тільки і можуть зустрічатися варіанти СПТМ, які беруть участь в еволюційному процесі, будемо розглядати область пошуку D . Сукупність варіантів систем підйомно-транспортних машин $a_1^t, a_2^t, \dots, a_v^t$, що належать області пошуку D , утворює популяцію P_t . Число v , що характеризує кількість варіантів СПТМ, які утворюють популяцію, прийнято називати *чисельністю популяції*.

Як кількісну ознаку можна використовувати ступінь приспосованості варіантів системи підйомно-транспортних машин μ . У тому випадку, коли для диференціації особин a_k^t використовується якісна ознака, наприклад, генотип $s(\bar{x})$. В якості запобіжного «близькості» значень вершин графа a_i^t та a_j^t можна використовувати число незбіжних за своїми значеннями геном в рядках χ_i^t та χ_j^t . Таку оцінку називають *Хеммінговою відстанню*, яка розраховується за формулою [43]:

$$d(\chi_i^t, \chi_j^t) = \sum_{l=1}^n \chi_l(a_i^t) \oplus \chi_l(a_j^t).$$

де \oplus - операція підсумовування за модулем 2.

Надалі *еволюцію популяції* P_t будемо розуміти в обмеженому сенсі як чергування поколінь, в процесі якого варіанти СПТМ змінюють свої варіабельні ознаки таким чином, щоб кожна наступна сукупність варіантів систем підйомно-транспортних машин, що належать області пошуку D (популяція), виявляла кращу ступінь пристосованості до зовнішнього середовища.

Метою генетичного пошуку є пошук варіанту СПТМ з найбільшим ступенем пристосованості. У нашому випадку для оцінювання варіантів СПТМ методом генетичних алгоритмів в якості міри пристосованості буде виступати цільова функція мінімізації наведених витрат (п. 3.1). Тоді ступінь пристосованості набуде вигляду [41]:

$$\mu = Z_{\Sigma} + J = C + E_{HK} + S \cdot F \rightarrow \min. \quad (3.31).$$

На вибір оптимального варіанту СПТМ накладаються обмеження виду $g_i \geq 0$. В даному випадку вони мають таке значення [41]:

$$g_2 = q_{\text{експл}} - q_{\text{теор}} \geq 0, \quad (3.32)$$

де $q_{\text{експл}}$ - експлуатаційна продуктивність; $q_{\text{теор}}$ - теоретична продуктивність.

Методика визначення змінних, що входять в обмеження (3.32), представлена в п. 2.4. Дане обмеження виділяє для подальшого аналізу варіанти СПТМ, здатні здійснити необхідний обсяг перевезень, маючи достатню продуктивність [41]

$$g_3 = G_{3.1i} \wedge G_{3.2i} \wedge G_{3.3i} = 0, \quad (3.33)$$

де $G_{3.1}$, $G_{3.2}$, $G_{3.3}$ - конструктивні обмеження на СПТМ (мають значення: 1 - при виконанні обмеження, 0 - в іншому випадку); \wedge - знак операції логічного множення.

$G_{3.1} = (D_1 \leq A_1) \wedge (D_2 \leq A_2)$ - обмеження, що враховує взаємозв'язок габаритів підйомно-транспортного засобу з простором цеху, де D_1 , D_2 - довжина і ширина транспортного засобу (габарити транспортного засобу); A_1 , A_2 - порівнюваний параметр простору цеху, або

складу (для мостових кранів - це проліт цеху, для наземного транспорту - ширина проїздів).

$G_{3.2} = (D_4 \leq A_3)$ - обмеження, яке встановлює можливість транспортування вантажу по масі, де D_4 - маса переміщуваного вантажу; A_3 - максимальна маса вантажу, переміщуваного на транспортному засобі.

$G_{3.3} = (C_1 \geq A_4)$ - обмеження, яке встановлює відповідність режиму роботи підйомно-транспортного устаткування СПТМ (C_1) від режиму роботи, відповідного завданню на проектування СПТМ (A_4).

Таким чином, математична модель структурно-параметричного синтезу системи підйомно-транспортних машин представляється в такий спосіб [42]:

$$\begin{cases} \mu = C + E_{HK} + S \cdot F \rightarrow \min; \\ g_1 = G_{1.1} \wedge G_{1.2} \wedge G_{1.3} = 1; \\ g_2 = q_{\text{експл}} - q_{\text{теор}} \geq 0; \\ g_3 = G_{3.1i} \wedge G_{3.2i} \wedge G_{3.3i} = 0. \end{cases} \quad (3.34)$$

Дана математична модель дозволяє описати структуру парку підйомно-транспортних машин СПТМ, сформувані множини їх допустимих варіантів, оцінивши сумісність підсистем, що утворюють кожен з варіантів, зіставити кожен з підсистем допустимого варіанту структури парку підйомно-транспортних машин СПТМ реальної підйомно-транспортної машини і вибрати оптимальний варіант, за розробленим критерієм мінімуму приведених витрат.

3.2.2 Узагальнена структура генетичного алгоритму при виборі варіанту системи підйомно-транспортних машин

Узагальнена структура генетичного алгоритму при виборі варіанту системи підйомно-транспортних машин може бути представлена наступним чином.

1. Ініціалізація початкової сукупності варіантів системи підйомно-транспортних машин, що належать області пошуку P_0 , чисельністю v .

1.1. Встановити номер поточного покоління $t := 0$.

1.2. Згенерувати випадковим чином набір з v значень класифікаційних ознак фіксованої довжини L , в якому Хеммінгова відстань між будь-якою парою значень не дорівнює нулю.

1.3. Оцінити рядок із значень вершин вирішального графа з допомогою функції пристосованості, в її ролі виступає цільова функція мінімізації приведених витрат на варіант СПТМ.

2. Формування модифікованих варіантів СПТМ зі спадковими значеннями вершин вирішального графа базових варіантів.

2.1. Вибрати випадковим чином з поточної сукупності варіантів системи підйомно-транспортних машин P_t , що належать області пошуку D , згідно *схеми схрещування* значення вершин вирішального графа двох початкових варіантів, що утворюють вихідну пару варіантів.

2.2. Згенерувати за допомогою оператора кросовера для обраної вихідної пари варіантів з ймовірністю p_c одне або кілька значень вершин вирішального графа чергового варіанту СПТМ, які успадковують набір значень початкових варіантів.

2.3. Оцінити кожен набір значень вершин вирішального графа модифікованих варіантів за допомогою функції пристосованості.

2.4. Повторювати всі операції з п. 2.1 до тих пір, поки не буде розглянуто вказану кількість вихідних пар варіантів N_c .

3. Створення варіантів СПТМ з набором значень вершин вирішального графа, що відрізняється від базового варіанту.

3.1. Вибрати випадковим чином з числа модифікованих i / або вихідних варіантів наборів значень, які успадковують один або обидва базові варіанти.

3.2. Згенерувати за допомогою оператора мутації для значень класифікаційних ознак з ймовірністю p_m набір значень модифікованого варіанту, що забезпечує мінливість генетичних властивостей базових варіантів СПТМ.

3.3. Оцінити набір значень вершин вирішального графа модифікованого варіанту за допомогою функції пристосованості.

3.4. Повторювати всі операції з п. 3.1 до тих пір, поки не буде отримано задане число модифікованих варіантів N_m .

4. Заміна поточної сукупності варіантів системи підйомно-транспортних машин P^t новою P^{t+1} .

4.1. Вибрати стратегію формування сукупності варіантів P^{t+1} .

4.2. Сформувати з базових і / або модифікованих варіантів множини наборів значень вершин вирішального графа.

4.3. Скопіювати за допомогою оператора селекції з обраної множини набір, який реалізує стратегію формування популяції P^{t+1} .

5. Умова виходу з ітераційного циклу. Змінити номер поточного покоління $t := t + 1$ і повторити всі операції з п. 2, якщо умову закінчення генетичного пошуку не виконано.

3.3 Методика формування системи підйомно-транспортних машин

Методика формування системи підйомно-транспортних машин основних та допоміжних цехів і дільниць переробних і харчових підприємств передбачає виконання таких етапів:

1. Отримання вихідних даних для формування системи підйомно-транспортних машин - величини вантажопотоків, планування основного технологічного обладнання, типів і масогабаритних показників переміщуваних вантажів, розміри транспортних партій.

2. Аналіз діючої системи підйомно-транспортних машин при її модернізації, або планування цеху (дільниці цеху) при проектуванні нової системи підйомно-транспортних машин.

3. Формування необхідного N -часткового графа з розробленого (вибір необхідних вершин N -часткового графа).

4. Синтез допустимих варіантів системи підйомно-транспортних машин (синтез вирішальних графів).

5. Аналіз допустимих варіантів СПТМ (вирішальних графів), отриманих в результаті синтезу.

6. Вибір моделей підйомно-транспортних засобів для сформованих допустимих варіантів СПТМ.

3.4 Верифікація моделі структурно-параметричного синтезу

Верифікація моделі (3.34) проводилась шляхом підготовки пропозиції щодо модернізації системи підйомно-транспортних машин заготівельного виробництва ТОВ «Агрона Фрут Україна» (рисунок 3.1), викликаної необхідністю обслуговування додаткового технологічного обладнання, що встановлюється для збільшення обсягів випуску продукції.

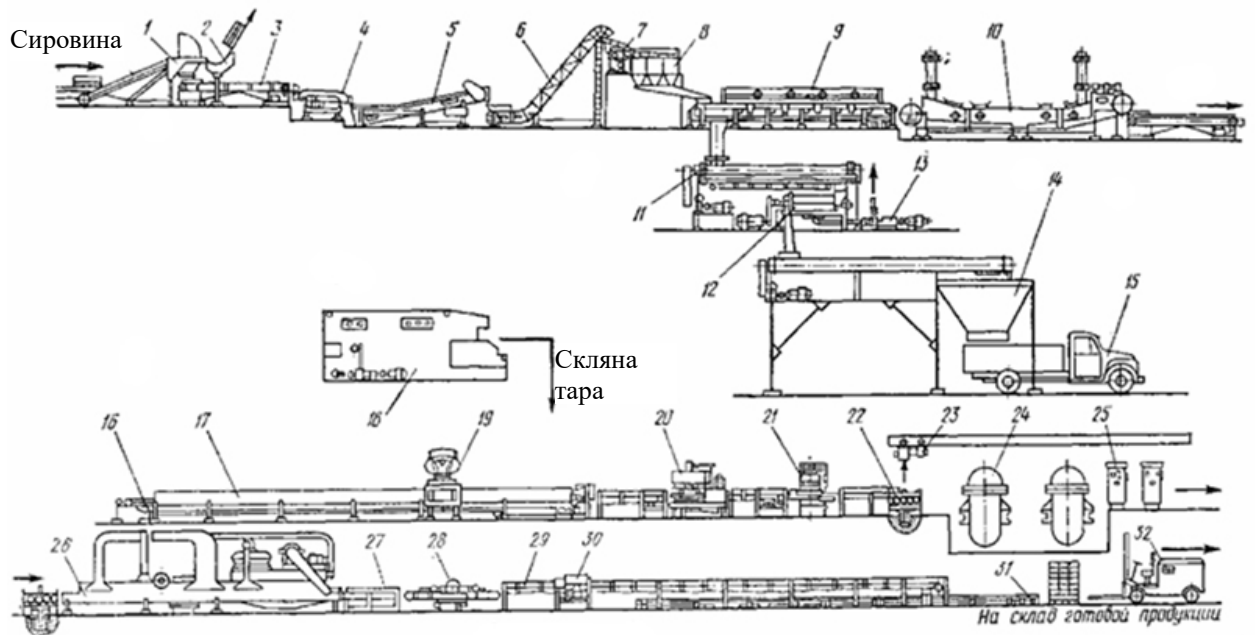


Рисунок 3.1 – Функціональна апаратурно-технологічна схема виробництва: 1 - перекидач ящиків із сировиною; 2 - елеватор з полицями; 3 - транспортер; 4 - машина для відділення плодоніжки; 5 - уніфікована мийна машина; 6 - елеватор; 7 - Калібрувач; 8 - бункер-накопичувач; 9 - конвеєр підготовки плодів; 10 - бланширувач; 11 - разварювач для відходів; 12 - протиральна машина; 13 - насос; 14 - бункер; 15- автотранспортер; 16 - планстинчастий транспортер; 17 - фасувальний конвеєр; 18 - машина для мийки банок; 19 - автоматичний наповнювач системи Вязовського; 20 - автоматичний наповнювач для сиропу; 21 - закаточна машина; 22 - укладальник банок в автоклавні кошика; 23 - тельфер; 24 - автоклав; 25 - прилад для управління процесом; 26 - агрегат для миття та сушіння банок; 27 - стрічковий транспортер-накопичувач; 28 - етикетировочні автомат; 29 - транспортер для подачі ящиків; 30 - пристрій для підсушування етикеток; 31 - ліпний транспортер; 32 – електронавантажувач [41]

3.4.1 Аналіз діяльності системи підйомно-транспортних машин ТОВ «Агрона Фрут Україна»

Яблука на переробку поставляють в контейнерах, ящиках 2 (рисунок 3.1) або навалом в автомобілях. Сировина зважується і електронавантажувачем 1 (якщо в тарі) подається в цех, де розвантажується в мийну машину 3. На інспекційному конвеєрі 4 видаляються плоди, непридатні для переробки. Потім яблука повторно миються і ополіскуються під душем мийної машини 5. Далі по елеватору 6 вони подаються в дискову дробарку 7. Отримана мезга надходить в шнековий стекатель 8, де самопливом і при незначному підпресуванні з мезги відділяється до 40% соку (замість 60% при звичайній переробці). Кількість суспензій в соку в цьому випадку в кілька разів менше, ніж в соку, отриманому на шнекових пресах.

Віджятий сік надходить до збірки 76, з якого плунжерним насосом 77 по трубопроводу направляється у відстійник 24. Відстояну продукцію декантують, і поршневым насосом 14 вона подається в пастеризатор-охолоджувач 23 для підігріву до температури 80-90 ° С і подальшого охолодження до 25-30 ° С. Для більш ефективного охолодження сік пропускається через трубчастий охолоджувач 22. При швидкому нагріванні і охолодженні білкові речовини коагулюють, в результаті покращується освітлення соку при фільтруванні.

Охолоджений сік під тиском спочатку надходить до збірки 20, встановлений на майданчику 27, звідти - самопливом в сепаратор 19 для очищення. При подачі самопливом сік краще очищається від суспензій. Очищений сік збирається в збірник 18, з якого спрямовується на остаточне очищення у фільтр-прес 28. Відфільтрований сік збирають в збірник 29. Потім насосом 14 сік перекачується в трубчастий підігрівач 30, де нагрівається до температури 90 ° С і подається в двостінний котел 31 для підтримання постійної температури до початку фасування.

Пляшки миють в машині 43 і переглядають через екран 42. При виході з мийної машини температура пляшок повинна бути не менше 50 ° С. Для

цього обладнають спеціальний шпарювач 40: по обидва боки конвеєра 41 монтують дві дюймові труби довжиною 1,5 м з барботерами, в які подають пар. Отвори барботерів з обох сторін спрямовані на корпус пляшок. Ділянка конвеєра з барботерами закривають кожухом з витяжним зонтом.

Гарячі пляшки конвеєром подаються до розливного автомата 32, потім до закупорного автомату 33. закупорюють пляшки кронен-пробками з поліетиленовими вкладишами, які попередньо 3-4 хв обробляються гострою парою в шафі або гарячою водою (85-100 ° C) в двостінних котлі.

Після закупорювання пляшки при русі по конвеєру 35 перевіряються на бракеражному автоматі 34. З стола А9-накопичувача 36 пляшки укладають в кошики 37 в три ряди. Кожен ряд пляшок перекладають дерев'яною решіткою. За допомогою електротельфера 38 кошика встановлюють в автоклав 39 для стерилізації. Потім вони вивантажуються на стіла-накопичувач, етикетуються, встановлюються в ящики, відправляються на склад або реалізуються.

Вичавки, отримані на стекателя і містять до 20% соку, подаються в шнековий шпарювач 9. При цьому гідролізується протопектину і забезпечується відділення м'якоті від шкірки і насінневих камер. Щоб продукт не підгорів, в шпарювачах його підігривають до температури 100-110 °C. Після отримання опіків вичавки подаються в одноступінчасту універсальну протирочну машину 10 (діаметр отворів сит 1-1,2 мм). Протерте пюре збирається в збірник 15, з нього насосом 14 направляється в другу протирочну машину 25 (діаметр отворів 0,6-0,8 мм). Далі продукт надходить в вакуум-апарат 26 для варіння повидла або на сульфитацію.

Цукор, необхідний для варіння повидла, просівається на віброситі 11, до збірки 12 відважується необхідну кількість його на терезах 13 і подається в вакуум-апарат 26 в пюре. Готове повидло фасують в банки або бочки місткістю 50 л з поліетиленовими вкладишами. Якщо повидло фасують в банки місткістю 0,65-1,0 л, то їх потім стерилізують в автоклавах. Якщо пюре призначене для отримання напівфабрикату, то після другої протирання його

охолоджують в виручених котлах 27, фасують в бочки з поліетиленовими вкладишами, сульфитують і відправляють на зберігання.

3.4.2 Синтез альтернативних варіантів системи підйомно-транспортних машин

Підприємством опрацьовуються варіанти модернізації діючої системи підйомно-транспортних машин підготовчого відділення та відділення перероблення відходів, викликані установкою на виробничих ділянках додаткового технологічного обладнання. Таким чином створюються два додаткових ділянки: попереднього розвантаження та зберігання сировини в ящиках на проміжному складі, а також додаткового зневоднення макухи перед уварюванням за допомогою вібропресового обладнання для зневоднення [23].

Для формування альтернативних варіантів модернізації СПТМ на основі розробленого N -часткового графа був сформований граф з необхідними для вирішення даного завдання вершинами, представлений в таблиці 3.6 [42].

Таблиця 3.6 - Граф системи підйомно-транспортних машин ТОВ «Агрона Фрут Україна» [42]

Номер частки	Назва класифікаційної ознаки	Значення класифікаційної ознаки
1	Клас заготівельного цеху	1.1 перший клас
		1.2 другий клас
2	Група заготівельного цеху	2.1. перша
		2.2. друга
		2.3 третя
3	Вид маршруту руху	3.1 односторонній
		3.2 двосторонній
		3.3 маятниковий
		3.4 кільцевий
4	Спосіб переміщення вантажів	4.1 в тарі
		4.2 без тари
		4.3 орієнтовані
		4.4 навалом

Продовження таблиці 3.6

Номер частки	Назва класифікаційної ознаки	Значення класифікаційної ознаки
5	Принцип руху	5.1 періодичні
		5.2 безперервні
6	Конструктивне виконання	6.1 рейкові
		6.2 безрейкові
		6.3 комбіновані
7	Спосіб управління	7.1 з кабіни
		7.2 дистанційне керування
		7.3 автоматичне керування
		7.4 управління з підлоги
8	Крани	8.1 мостові крани
		8.2 козлові крани
		8.3 козлові крани
		8.4 консольні крани
		8.5 без цієї частки
9	Пристрої для між операційного транспортування	9.1 рухлива тара
		9.2 скати
		9.3 склизу
		9.4 рейкові візки
		9.5 безрейкові візки
		9.6 монорейкові транспортні роботи
		9.7 порталні транспортні роботи
		9.8 без цієї частки

Шляхом проведення структурно-параметричного синтезу був сформований ряд конкуруючих між собою вирішальних графів (варіантів СПТМ), частина з яких представлена в таблиці 3.7 [42].

Таблиця 3.7 - Синтезовані варіанти СПТМ [42]

Номер варіанту	Вирішальний граф
1	$a = \{a_{1.1} a_{2.1} a_{3.2} a_{4.2} a_{5.1} a_{6.1} a_{7.4} a_{8.1} a_{9.8}\}$
2	$a = \{a_{1.1} a_{2.1} a_{3.2} a_{4.2} a_{5.1} a_{6.2} a_{7.4} a_{8.4} a_{9.8}\}$
3	$a = \{a_{1.1} a_{2.1} a_{3.2} a_{4.2} a_{5.1} a_{6.3} a_{7.4} a_{8.2} a_{9.4}\}$
4	$a = \{a_{1.1} a_{2.1} a_{3.2} a_{4.2} a_{5.1} a_{6.3} a_{7.4} a_{8.3} a_{9.4}\}$

Для сформованих вирішальних графів розроблене програмне забезпечення, в якому реалізовані результати досліджень, шляхом використання генетичного алгоритму дозволило сформувавши ряд остаточних варіантів системи підйомно-транспортних машин. З огляду на неможливість реалізації деяких з них в конкретних умовах, для подальшого аналізу було обрано такі варіанти модернізації діючої системи підйомно-транспортних машин заготівельного виробництва:

- перший варіант: заміна перекидача ящиків 1 (рисунок 3.1) із сировиною стрічковим конвеєром та норією для розвантаження яблук, що підвозяться насипом у вантажівках у складський бункер [14, 15];

- другий варіант (рисунок 3.1): заміна перекидача ящиків 1 (рисунок 3.1) із сировиною стрічковим конвеєром та норією для розвантаження яблук, що підвозяться насипом у вантажівках у складський бункер [36], заміна елеватора 6 стрічковим горизонтальним конвеєром за рахунок забезпечення установлення уніфікованої мийної машини 5 на рівні калібрувача 7;

- третій варіант заміна наявного розварювача відходів технологічним комплексом для їх додаткового зневоднення в складі гідроімпульсного віброударного сита, шнекового преса, гідроімпульсного вібропреса та валкової установки [38] з установленням між конвеєром 9 та гідроімпульсним ситом додаткової похилого стрічкового конвеєра;

- четвертий варіант заміна наявного розварювача відходів технологічним комплексом для їх додаткового зневоднення в складі статичного преса, дифузора, шнекового преса та гідроімпульсного вібропреса [37] з установленням між конвеєром 9 та статичним пресом додаткової норії;

- п'ятий варіант заміна машини для миття банок 18, закаточної машини 21, укладальника банок 22 в автоклавні кошики; тельфера 23; автоклава 24; приладу 25 для управління процесом; агрегату 26 для миття та сушіння банок обладнанням для розфасовування повідла та сиропу у пластикову упаковку з нанесеними на ній етикетками.

Для остаточного рішення про вибір варіанту системи підйомно-транспортних машин аналізовані варіанти порівнювалися за розробленим критерієм оптимальності (μ). При цьому, з огляду на те, що частина елементів технологічної собівартості і капітальних вкладень за варіантами не чинитимуть істотного впливу на остаточне значення критерію оптимальності, було вирішено вести порівняння тільки за незалежним від варіанту складовим критерію оптимальності.

У цьому випадку формула (3.30) набуде вигляду [42]:

$$Z_{\Sigma} = \sum_{i=1}^m \Pi_{\text{от-с}}^{(i)} \cdot \eta_{n1} \cdot \eta_{n2} \cdot a_k + \sum_1^n C_3^n + J + E_H \cdot \left(\sum_{i=1}^m \Pi_{\text{от-с}}^{(i)} \cdot (1 + \sigma_T + \sigma_C + \sigma_M) \right) \quad (3.35)$$

Для розрахунку вартості хвилини очікування технологічного обладнання F за (3.28) використані наступні значення:

- в якості обсягу товарної продукції P_p приймалася виручка від реалізації товарної продукції, яка за даними ТОВ «Агрона Фрут Україна» за 2019 рік склала $P_p = 1206,5 \cdot 10^6$ грн;

- чисельність працівників підприємства - $N_p = 1183$ людини;

- річний фонд робочого часу в 2019 році $\Phi = 118200$ хв.

У цьому випадку середня вартість однієї хвилини очікування технологічного обладнання складе $F = 8,62$ грн. Дані до конкретних моделей підйомно-транспортних засобів отримані з джерел [13-14]. Залежність (3.29) для розрахунку витрат від простою технологічного обладнання показники t_i^{TO} та L_i^{TO} визначалися за результатами імітаційного моделювання, здійснюваного за допомогою розширеного редактора GPSS World [12- 15]. Результати розрахунку часу простою технологічного обладнання, отримані шляхом проведення імітаційного моделювання роботи підприємства для порівнюваних варіантів, зведені в таблицю 3.8.

Зведені показники за варіантами систем підйомно-транспортних машин представлені в таблиці 3.9.

Таблиця 3.8 - Час простою технологічного обладнання за рік [42]

Номер варіанту	Час простою технологічного обладнання за рік, год.
1	13 889,78
2	11 906,03
3	11 766,01
4	8082,47
5	11 413,8

Таблиця 3.9 - Зведені показники за варіантами систем підйомно-транспортних машин ТОВ «Агрона Фрут Україна» [44]

№ вар-ту	Ціна елементів СПТМ $C_{от-с}$, грн.	Технологічна собівартість C варіанту СПТМ, грн.	Витрати від простою технологічн. обладнання J , грн. / рік	Капітальні витрати K , грн.	Критерій оптимальності μ , грн.
1	94460	57751	719071	105896	792707
2	97880	74469	616373	134585	711030
3	100350	61126	614713	113624	692883
4	132160	99404	418428	174504	544008
5	135820	82821	590890	157551	697344

Залежності вартості устаткування, витрат від простою технологічного обладнання і приведених витрат від номера варіанта представлені на рисунку 3.6.

Як видно з таблиці 3.9 та рисунка 3.2 за величиною наведених витрат і величини втрат від простою технологічного обладнання для реалізації на підприємстві найбільш оптимальним є варіант 4: заміна наявного розварювача відходів технологічним комплексом для їх додаткового зневоднення в складі статичного преса, дифузора, шнекового преса та гідроімпульсного вібропреса [37] з установленням між конвеєром 9 та статичним пресом додаткової норії.

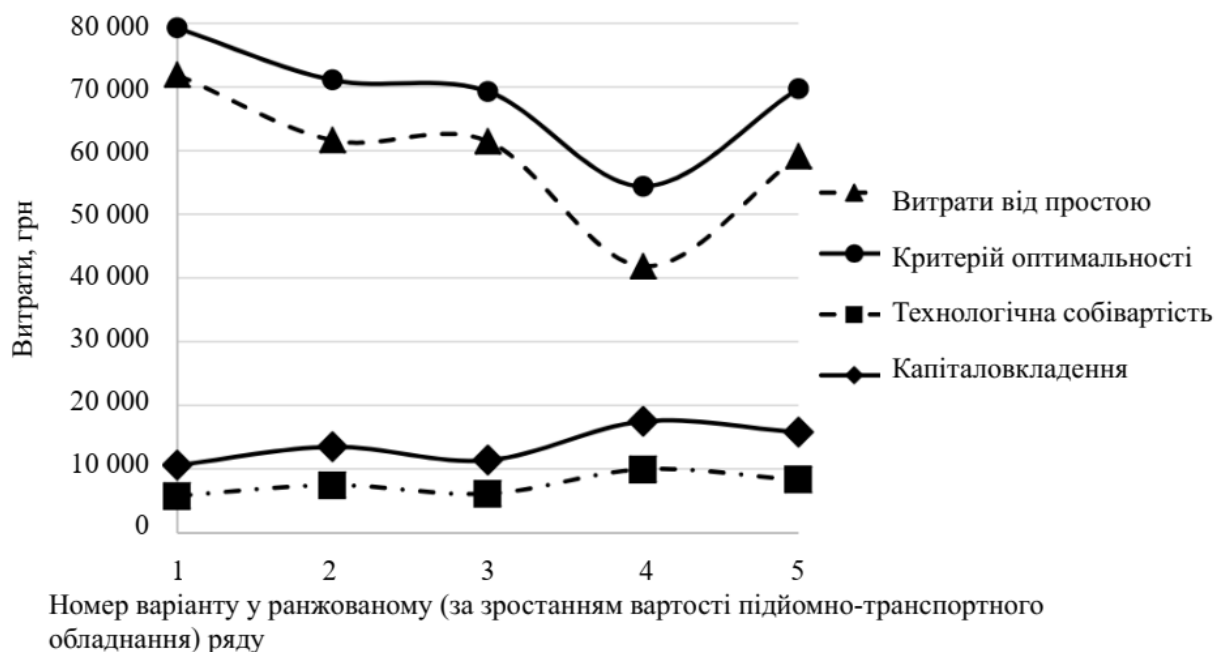


Рисунок 3.2 - Результати аналізу порівнюваних варіантів [44]

Для даного варіанту значення наведених витрат дорівнює 544008 грн. Найменш раціональним варіантом є 1-й, що передбачає заміну перекидача ящиків 1 (рисунок 3.1) із сировиною стрічковим конвеєром та норією для розвантаження яблук, що підвозяться насипом у вантажівках у складський бункер [14, 15]. Значення наведених витрат для першого варіанту сягають 792707 грн. Впровадження запропонованого варіанту дозволить досягти зниження приведених витрат на 31% і скорочення часу простою технологічного обладнання і викликаних ним втрат на 41,8% (для нераціонального варіанту вони складуть відповідно 1388 год / рік і 719071 грн. / рік, для запропонованого - 808,5 год / рік і 418428 грн. / рік).

Отримані результати підтверджують адекватність розробленої математичної моделі структурно-параметричного синтезу системи підйомно-транспортних машин цехів і дільниць переробних і харчових підприємств.

4 ПРАКТИЧНА РЕАЛІЗАЦІЯ РЕЗУЛЬТАТІВ ДОСЛІДЖЕННЯ

4.1 Розробка програмного забезпечення

З метою практичної реалізації розглянутої методики формування і оцінки ефективності систем підйомно-транспортних машин цехів і дільниць переробних і харчових підприємств на ранніх стадіях процесу їх проектування, що враховує організаційно-виробничі та технологічні параметри реалізованого ними виробничого процесу.

4.1.1 Опис програмного комплексу

Розроблений додаток було написано мовою C# із застосуванням технології WPF. WindowsPresentationFoundation – частина екосистеми платформи .NET, що представляє собою підсистему для побудови графічних інтерфейсів, для реалізації генетичних алгоритмів використана бібліотека GeneticSharp.

В додатках WPF на відміну від WinForms, за створення елементів управління і графіки відповідали компоненти User32 і GDI+, що використовують бібліотеку DirectX. Іншою важливою особливістю є використання мови декларативної розмітки інтерфейсу XAML, заснованої на XML, яка дозволяє створювати насичений графічний інтерфейс, використовуючи або декларативні оголошення інтерфейсу, або код на керованих мовах C# і VB.NET, або і те, і інше. Також в WPF є можливість прив'язки даних, створення власних стилів, макетів, мультимедіа, документів, двомірної та тривимірної графіки. Це дозволяє створювати власні елементи управління з довільною структурою і гнучким функціоналом. З урахуванням того що розроблений додаток повинен візуалізувати N -частковий граф, а також надавати інструменти для його редагування, використання даної технології є обґрунтованим рішенням. Крім цього, нам доступні всі можливості бібліотеки Microsoft .NET Framework в яку, як було зазначено, і входить WPF. Для зберігання інформації використовуються таблиці Excel.

Взаємодія керованого .Net коду з COM-об'єктами Excel відбувається за допомогою технології COMInterop. Завданням COM Interop є забезпечення доступу до існуючих компонентів COM без необхідності модифікації оригінальних компонентів. Дана технологія намагається зробити типи .NET еквівалентними типам COM. Крім того, COM Interop дозволяє розробникам COM отримати доступ до керованих об'єктів так само просто, як і доступ до інших об'єктів COM. Простота і швидкість написання додатка із застосуванням цієї технології є вирішальним фактором у виборі на користь таблиць Excel, як сховища даних. Процес структурного синтезу систем підйомно-транспортних машин цехів і ділянок переробних і харчових підприємств з застосуванням розроблювального програмного продукту представлений в вигляді функціональних схем, показаних на рисунку 4.1.

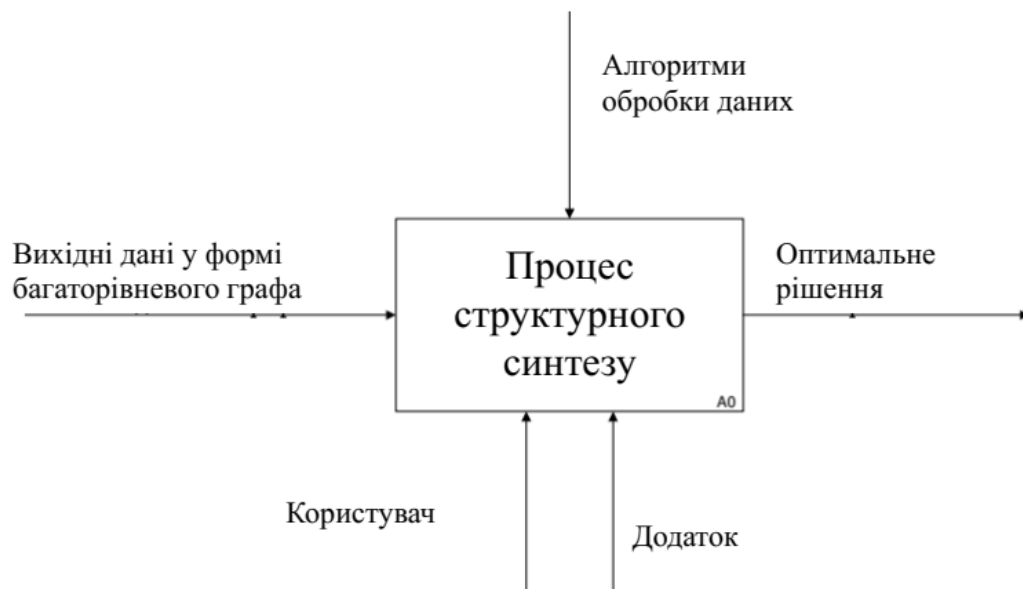


Рисунок 4.1 - Функціональна схема автоматизації синтезу проектних рішень (вузол A0) [44]

4.1.2 Огляд можливостей розробленого додатку

На першому етапі користувач повинен ввести вихідні дані. Для цього використовується редактор N - часткових графів (рисунок 4.2). При натисканні на кнопку «Додати вершину» відкривається вікно створення вершини графа (рисунок 4.3), в якому вводиться назва вершини і вибирається

прикріплена до неї таблиця Excel, що містить дані для роботи генетичного алгоритма.

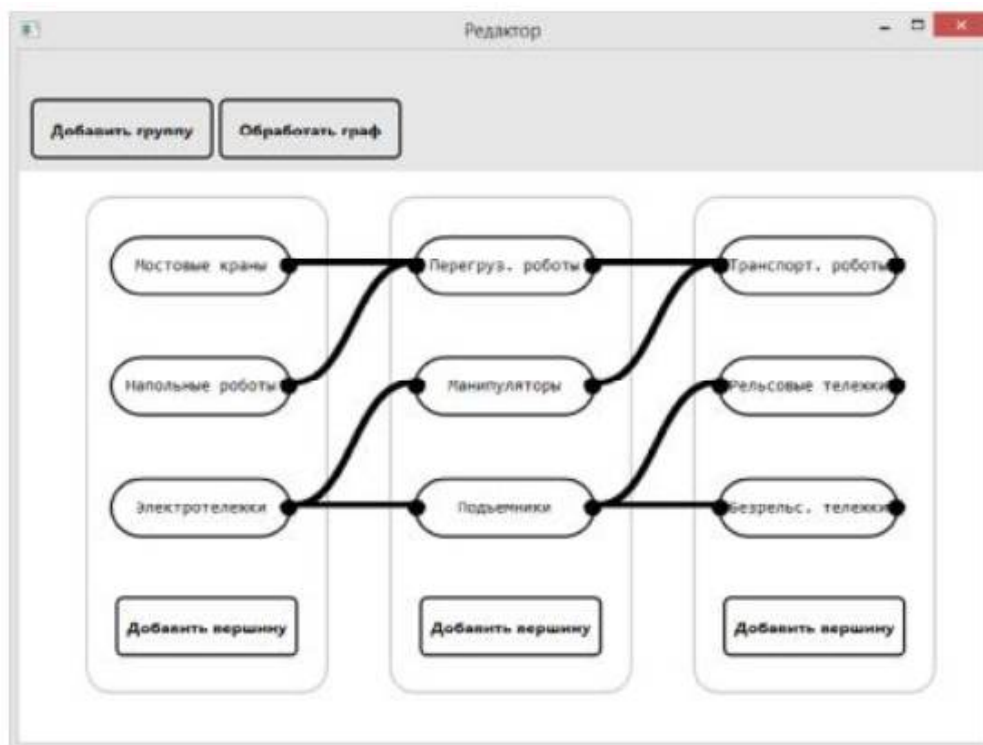


Рисунок 4.2 - Приклад роботи редактора графів [44]

Рисунок 4.3 - Вікно створення вершини [44]

Для з'єднання вершин спочатку виділяється початкова вершина, потім кінцева. На рисунку 4.4 показаний приклад створеного зв'язку.

Хибний зв'язок можна видалити. При натисканні на лінію лівою кнопкою миші з'явиться кнопка «Видалити», при цьому лінія, що видаляється стане червоного кольору (рисунок 4.5).

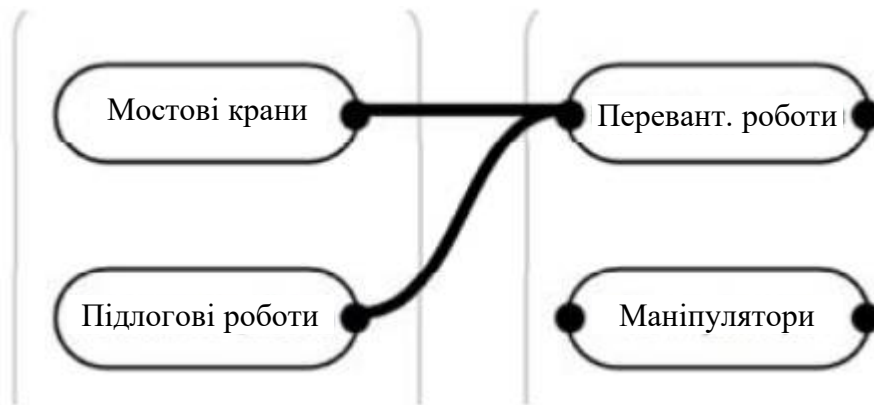


Рисунок 4.4 - Приклад створення зв'язку між двома вершин

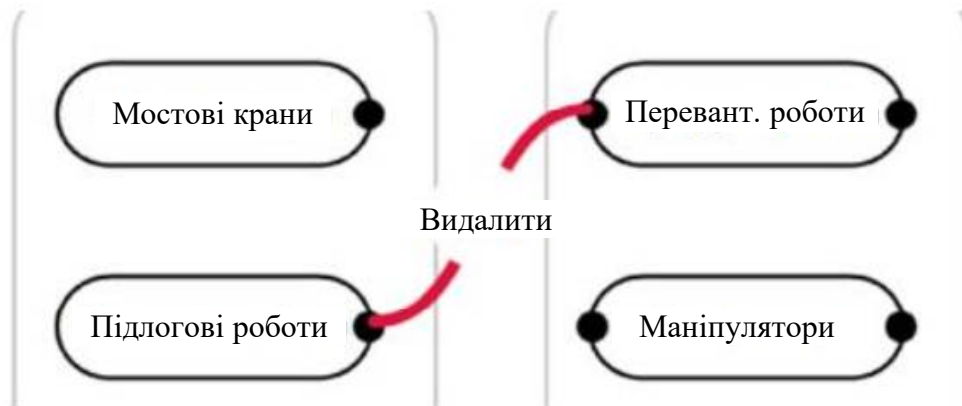


Рисунок 4.5 - Видалення зв'язку [44]

Для видалення вершини необхідно виділити її лівою кнопкою миші і внизу прямокутника, що візуалізує частки графа, з'явиться кнопка «Видалити вершину» (рисунок 4.6).

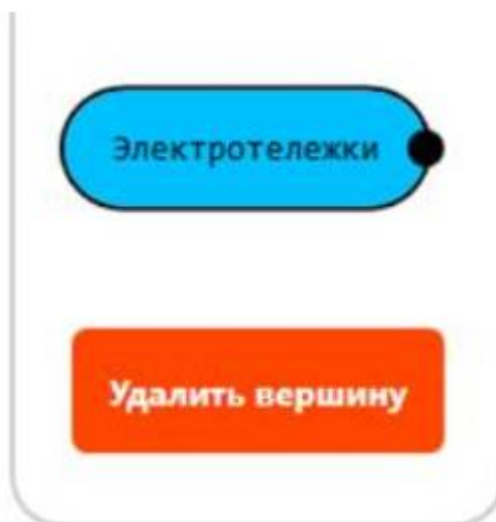


Рисунок 4.6 - Видалення вершини [44]

Наступні етапи додаток виконує автоматично. В результаті отримуємо оптимальний варіант системи підйомно-транспортних машин. Далі формується звіт про результати дослідження.

4.2 Аналіз показників ефективності порівнюваних варіантів

Для додаткового аналізу ефективності порівнюваних варіантів нами використовувалися наступні показники, одержувані шляхом проведення імітаційного моделювання: маса сировини, що знаходиться в черзі на переробку на технологічній ділянці; максимальне зміст черги на обробку на технологічній ділянці; число вантажних одиниць (вантажівок), обслужених СПТМ без черги; час очікування вантажною одиницею початку виконання СПТМ підйомно-транспортної операції (час її перебування в черзі); час виконання технологічною системою цеху різних планів випуску продукції.

На рисунку 4.7 представлені графіки маси сировини на переробку на технологічних ділянках за варіантами [45].

Таблиця 4.1 - Маса сировини на переробку на технологічних ділянках

Технологічні ділянки	Максимальна маса сировини, т.				
	Варіант 1	Варіант 2	Варіант 3	Варіант 4	Варіант 5
Ділянка розвантаження вантажівок	2	3	3	4	3
Ділянка відокремлення плодоніжок	1	6	5	6	5
Ділянка миття	2	7	7	5	6
Ділянка калібрування	6	7	6	16	6
Ділянка бланшування	8	7	6	8	6
Ділянка розварювання	6	5	5	16	6
Ділянка упакування	6	7	8	0	8

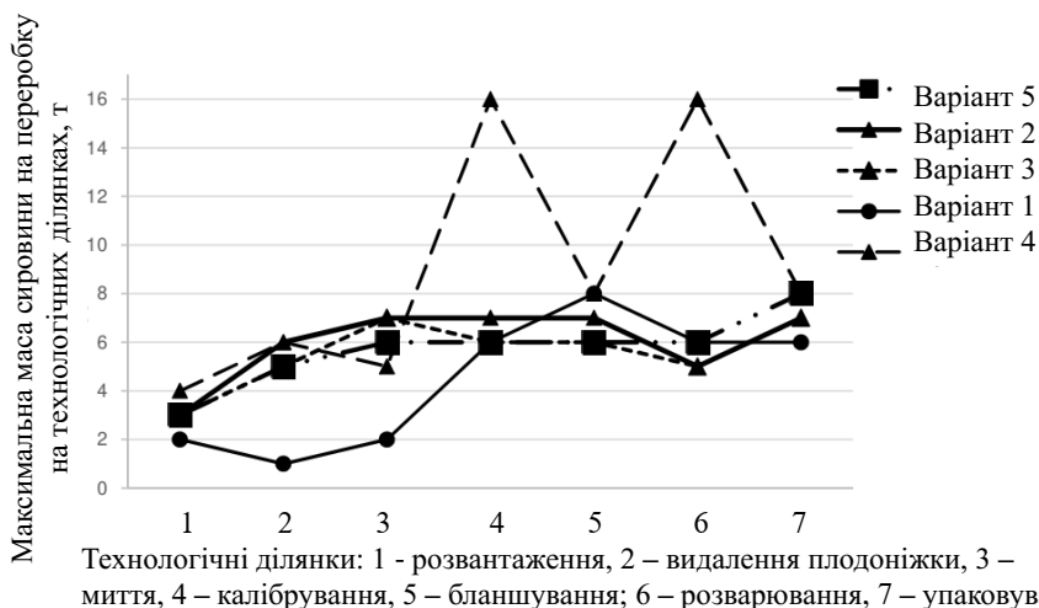


Рисунок 4.7 - Відомості про максимальну масу сировини на переробку на технологічних ділянках [45]

В таблиці 4.2 [45] представлені дані про поточну масу сировини на переробку на технологічних ділянках, їх графіки представлені на рисунку 4.8. Для 4 варіанту максимальну масу сировини знаходиться на ділянці різання прокату 1 і становить 8 одиниць.

Таблиця 4.2 – Поточна маса сировини на переробку на технологічних ділянках [45]

Технологічні ділянки	Максимальна маса сировини, т.				
	Варіант 1	Варіант 2	Варіант 3	Варіант 4	Варіант 5
Ділянка розвантаження вантажівок	0	1	0	1	0
Ділянка відокремлення плодоніжок	0	1	0	0	0
Ділянка миття	0	0	2	0	1
Ділянка калібрування	0	1	1	8	0
Ділянка бланшування	2	2	3	1	2
Ділянка розварювання	0	1	0	3	3
Ділянка упаковування	2	1	1	0	0

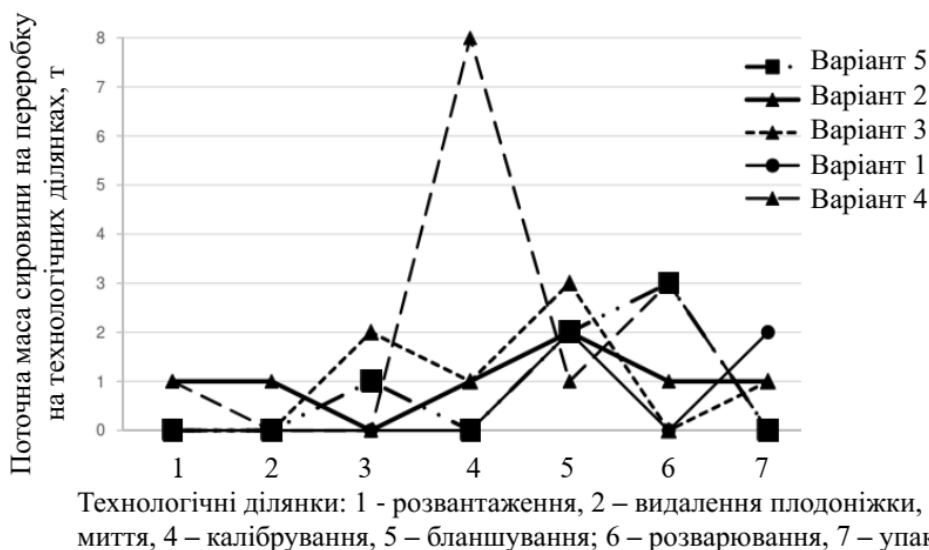


Рисунок 4.8 - Відомості про поточну масу сировини на переробку на технологічних ділянках [45]

У таблиці 4.3 [45] представлені дані про час очікування вантажною одиницею початку обробки до технологічних ділянок, їх графіки представлені на рисунку 4.9. Максимальний час перебування вантажний одиниці в черзі до технологічних ділянок 1 і 3 для варіанта 4 і становить 22,61 хв і 21,67 хв, відповідно.

Таблиця 4.3 - Час перебування вантажний одиниці в черзі до технологічних ділянок [45]

Технологічні ділянки	Час перебування, хв.				
	Варіант 1	Варіант 2	Варіант 3	Варіант 4	Варіант 5
Ділянка розвантаження вантажівок	9,994	10,039	10,037	10,04	10,039
Ділянка відокремлення плодоніжок	0,365	4,615	4,585	4,268	4,457
Ділянка миття	0,898	5,028	5,321	4,973	5,143
Ділянка калібрування	12,73	12,755	12,647	22,61	12,842
Ділянка бланшування	15,306	15,419	15,55	13,348	15,615
Ділянка розварювання	12,662	12,715	12,699	21,676	12,884
Ділянка упакування	15,437	15,551	15,521	13,3	15,778

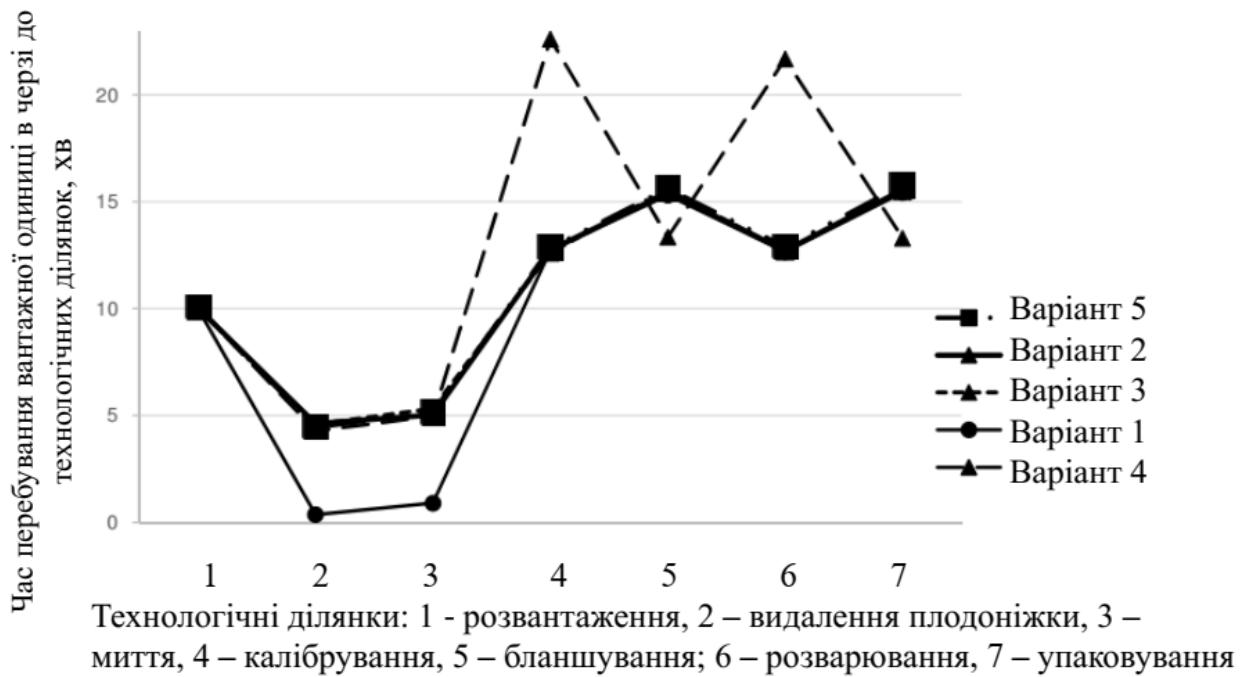


Рисунок 4.9 - Відомості про час перебування вантажної одиниці в черзі до технологічних ділянок [45]

4.3 Порівняльний аналіз пропонованого варіанту системи підйомно-транспортних машин ТОВ «Агрона Фрут Україна»

Зроблено порівняльний аналіз пропонованого варіанту СПТМ і системи підйомно-транспортних машин ТОВ «Агрона Фрут Україна». Аналіз проводився за підсумками імітаційного моделювання їх роботи при існуючому і збільшеному значенні вантажопотоків сировини. Результати моделювання показали наступне:

- пропонована система підйомно-транспортних машин справляється з модельованими значеннями вантажопотоків і, крім того, забезпечує переробку більшої маси сировини, ніж існуюча;

- ефективність технологічної системи, що обслуговується пропонованим варіантом СПТМ, при модельованих значеннях вантажопотоків деталей вища ніж у існуючої (зведені показники представлені в таблицях 4.4 і 4.5).

- окремі підйомно-транспортні машини існуючого варіанту СПТМ, які обслуговують вхідний потік сировини на переробку у виробничу дільницю,

при підвищеному значенні вантажопотоку мають коефіцієнт використання 1 і не справляються із заданою величиною вантажопотоку, накопичуючи значну чергу заявок на переробку.

Таблиця 4.4 - Зведені показники варіантів СПТМ при існуючому значенні вантажопотоку [43]

Показник	Пропонований варіант СПТМ	Існуючий варіант СПТМ
Маса переробленої сировини за рік, т.	46121	45926
Простій технологічного обладнання за рік, хв.	409582,4	411862,8

Таблиця 4.5 - Зведені показники варіантів СПТМ при збільшеному значенні вантажопотоку [43]

Показник	Пропонований варіант СПТМ	Існуючий варіант СПТМ
Маса переробленої сировини за рік, т.	64234	56336
Простій технологічного обладнання за рік, хв.	220146,3	319304,6

ВИСНОВКИ

1) В результаті аналізу методів проектування систем підйомно-транспортних машин переробних підприємств показано, що при формуванні систем підйомно-транспортних машин основних та допоміжних цехів і дільниць слід використовувати багатокритеріальні методи пошуку технічних рішень і генетичні алгоритми.

2) При формуванні альтернативних варіантів систем підйомно-транспортних машин необхідно враховувати характеристики підйомно-транспортних машин; взаємозв'язок їх габаритів з простором цехів підприємств; типи і масогабаритні показники переміщеного вантажу, тари і пристосувань, використовуваних при підйомі, транспортуванні та зберіганні вантажів.

3) Оптимальні варіанти систем підйомно-транспортних машин основних та допоміжних цехів і дільниць переробних і харчових підприємств, що забезпечують найбільшу ефективність виробничого процесу виготовлення продукції, повинні характеризуватися мінімальним значенням суми приведених витрат на створення і експлуатацію системи підйомно-транспортних машин і витрат від простою технологічного обладнання, що визначаються за результатами імітаційного моделювання роботи варіанту системи підйомно-транспортних машин.

4) У результаті виконаних досліджень розроблена комп'ютеризована система структурно-параметричного синтезу систем підйомно-транспортних машин основних та допоміжних цехів і дільниць переробних і харчових підприємств, що включає редактор для візуалізації і редагування N-рівневого графа, модуль синтезу альтернативних варіантів системи підйомно-транспортних машин на розробленому N-рівневому графі, модуль пошуку оптимального варіанту системи підйомно-транспортних машин з використанням апарату генетичних алгоритмів.

5) Розроблене програмне та методичне забезпечення використано при підготовці пропозиції по модернізації системи підйомно-транспортних

машин харчового підприємства, впровадження якого дозволить скоротити наведені витрати на 31% і знизити час простою технологічного обладнання на 41,8%. Наукові і практичні результати дослідження рекомендується застосовувати при комплексній механізації основних і допоміжних процесів і операцій переробки, а також в навчальному процесі підготовки магістрів і аспірантів в галузі машинобудування та підвищенні кваліфікації інженерно-технічних працівників переробних підприємств. Перспективою подальшої розробки теми дослідження є розвиток пропонованих в роботі підходів до формування систем підйомно-транспортних машин основних і допоміжних цехів і ділень переробних і харчових підприємств в напрямках проектування систем підйомно-транспортних машин підприємства в цілому і орієнтацію їх на більш пізні стадії процесу проектування переробних і харчових підприємств.

СПИСОК ЛІТЕРАТУРИ

1. Шадский Г.В., Сальников В.С., Сундуков Г.В. Автоматизация технологических процессов и производств: Учеб. пособие для вузов. ТулГУ. Тула, 2002. 120 с.
2. Kaletnik H., Sevostianov I., Bulgakov V., Holovach I., Melnik V., Ihnatiev Ye, Olt J. Development and examination of high-performance fluidisedbed vibration drier for processing food production waste. *Agronomy Research*. 18(4), 2020. P. 2391-2409.
3. Кудрявцев Е.М. Оптимизация комплекта оборудования для выполнения технологического процесса. *Механизация строительства*. 2014. № 12 (846). С. 55-59.
4. Sevostianov, I. V., Ivanchuk Ya. V., Polishchuk, O. V. Lutsyk, V. L., Dobrovolska, K. V., Smailova S., Wójcik, W., Kalizhanova A. Development of the scheme of the installation for mechanical wastewater treatment. *Journal of Ecological Engineering*, 2021. Volume 22, Issue 1. P. 20-28.
5. Кудрявцев Е.М. Системы автоматизированного проектирования машин и оборудования. *Строительные и дорожные машины*. 2014. № 8. С. 28-30.
6. Зуев В.А. Разработка логистических систем складов и производств. *Подъемно-транспортное дело*. 2012. № 2. -С. 7-10.
7. Бром А.Е., Зуев В.А. Моделирование внутризаводской системы подъемно-транспортных работ. *Подъемно-транспортное дело*. 2015. № 4-5. С. 43-44.
8. Bulgakov V., Sevostianov I., Kaletnik G., Babyn I., Ivanovs S., Holovach I., Ihnatiev Y. Theoretical Studies of the Vibration Process of the Dryer for Waste of Food. *Rural sustainability research* 44(339), 2020.
9. Антипова Л.В. Проектирование предприятий мясной отрасли с основами САПР: Учебник для вузов. М.: Колос, 2003. 320 с.
10. Севостьянов І. В. Експлуатація та обслуговування машин. Навчальний посібник. Вінниця: ВНТУ, 2006. 127 с.

11. Севостьянов І. В., Зозуляк І. А. Технологічне обладнання цехів переробки продукції тваринництва. Навчальний посібник. Вінниця : ВНАУ, 2020. 127 с. ISBN 978-617-7789-16-0.
12. Дитхелм Г. Управление проектами. В 2 т. Т 1. Основы / Г. Дитхелм. – СПб.: Издательский дом «Бизнес-пресса», 2004. 400 с.
13. Дитхелм Г. Управление проектами. В 2 т. Т 2. СПб.: Издательский дом «Бизнес-пресса», 2004. 288 с.
14. Севостьянов І. В. Технологія та обладнання для віброударного зневоднення вологих дисперсних матеріалів : монографія. Вінниця : ВНАУ, 2020. 303 с. ISBN 978-617-7789-16-0.
15. Менеджмент процессов / Под ред. Й. Беккера. М. Эксмо, 2007. 284 с.
16. Севостьянов І. В. Процеси та обладнання для віброударного фільтрування вологих дисперсних середовищ : монографія. Вінниця : ВНАУ, 2021. 184 с. ISBN 978-966-949-795-6.
17. Попов Ю.И., Яковенко О.В. Управление проектами: Учебное пособие. М.: ИНФРА-М, 2007. 208 с.
18. Севостьянов І. В., Луцик В. Л. Установка для багатостадійного зневоднення відходів харчових виробництв. *Вісник машинобудування та транспорту*, 2017. №1. С. 105-113.
19. Троцкий М., Груча Б., Огонек К. Управление проектами. М.: Финансы и статистика, 2006. 304 с.
20. Севостьянов І. В. Автоматизація проектування технологічних процесів механічної обробки та складання. *Вісник машинобудування та транспорту*, 2018. №1 (7). С. 112-120.
21. Управление инновационными проектами: Учеб. пособие / под. ред. В.Л. Попова. М.: ИНФРА-М, 2007. 336 с.
22. Sevostianov I., Kravets S., Pidlypna M. Use of criterial synthesis and analysis for modernization of objects of machine building production. *Техніка, енергетика, транспорт АПК*, 2020. №2 (109). С. 88- 96.

23. Федюкин В.К. Управление качеством процессов. СПб.: Питер, 2004. 208 с.
24. Иванчук Я. В., Искович-Лотоцький Р.Д., Коц І.В., Севостьянов І.В. Математичне моделювання технологічного процесу завантаження судна вібраційним конвеєром. *Shipbuilding & Marine Infrastructure / Судостроение и морская инфраструктура*, 2018. №2 (10). С. 81-92.
25. Жолобов А.А., Барановский А.Г., Высоцкий В.Т. Экономика и организация машиностроительного производства. Дипломное проектирование: учеб. пособие. Минск: Издво Гревцова, 2011. 328 с.
26. Sevostianov I., Kraevsky S. Intensification of mixing of heterogeneous food mixtures under the impact of ultrasonic vibrations. *Техніка, енергетика, транспорт АПК*, 2020. №4 (111). С. 80-89.
27. Раков Д.Л. Структурный анализ и синтез новых технических систем на базе морфологического подхода. М.: Книжный дом «ЛИБРОКОМ». 2011. 160 с.
28. Sevostianov I., Pidlypna M. Model of optimization of functioning of modern polygraphic and publishing complexes. *Техніка, енергетика, транспорт АПК*, 2020. №4 (111). С. 90-99.
29. Вторушин Д.П. Структурно-параметрический синтез эквивалентных моделей систем электроснабжения железных дорог: дис. ... канд. техн. наук. Иркутск, 2014. 161 с.
30. Ивахненко А.Г., Куц В.В. Предпроектные исследования металлорежущих систем: монографія. Курск: Юго-Зап. гос. ун-т., 2013. 188 с.
31. Sevostianov I., Tokarchuk O., Pidlypna M. Automated technological projection of classification processes of dry dispersive materials. *Техніка, енергетика, транспорт АПК*, 2021. №2 (113). С. 15-21.
32. Чяпяле Ю.М. Методы поиска изобретательских идей. Л.: Машиностроение. Ленинград. отд-ние, 1990. 96 с.
33. Донсков А.С. Основы инженерного творчества: учеб. пособие. Пермь: изд-во Перм. гос. техн. ун-та, 2007. 225 с.

34. Севостьянов І.В., Мельник О.С., Краєвський С.О., Горбаченко А.А. Дослідження відцентрового подрібнювача зернової сировини. Вібрації в техніці та технологіях, 2021. - №2 (101). С. 13-26.

35. Лукьянова Л.М. Теоретико-методологические основы структурно-целевого анализа и синтеза организационно-технических комплексов. Санкт-Петербургский институт информатики и автоматизации. СПб.: Наука, 2006. 276 с.

36. Божко А.Н., Толпаров А.Ч. Структурный синтез на элементах с ограниченной сочетаемостью. Электронное научно-техническое издание «Наука и Образование», 2004, №5.

37. Козлов В.Н. Системный анализ, оптимизация и принятие решений: учебное пособие. Москва: Проспект, 2010. 176 с.

38. Саати Т. Принятие решений. Метод анализа иерархий: пер. С англ. М.: Радио и связь, 1989. 278 с.

39. Кричевский М.Л. Интеллектуальный анализ данных в менеджменте: Учеб. пособие / СПбГУАП. СПб., 2005. 208 с.

40. Шафорост А.Н. Структурно-параметрический синтез транспортных систем механосборочных цехов машиностроительных предприятий. Известия Тульского государственного университета. Технические науки. Вып. 11. Ч. 2. Тула: Изд-во ТулГУ, 2016. С. 115-123.

41. Шафорост А.Н. Повышение энергоэффективности транспортно-складских систем промышленных предприятий. Вестник Тульского государственного университета. Автоматизация: проблемы, идеи, решения: Сб. научн. трудов XVII междунар. научно-техн. конф. «АПИР-18» Тула: Изд-во ТулГУ, 2013. С. 258-263.

42. Шафорост А.Н. Оптимизация структур транспортно-складских систем промышленных предприятий. XVIII Московская международная межвузовская конференция студентов, аспирантов и молодых ученых «Подъемно-транспортные, строительные, дорожные, путевые машины и

робототехнические комплексы» Материалы конференции. Часть II. М.: МАДИ, 2014. С. 100-103.

43. Шафорост А.Н. Структурно-параметрический синтез транспортно-складских систем промышленных предприятий. Студент и научно-технический прогресс. Сборник научных работ финалистов международного молодежного конкурса. Ростов н/Д: Изд-во ЮФУ, 2012. С. 35-39.

44. Шафорост А.Н. Методика формирования альтернатив при автоматизированном синтезе транспортно-складских систем. Молодежный вестник Политехнического института: сборник статей. Тула: Изд-во ТулГУ, 2012. С. 324-325.

45. Шафорост А.Н. Методика формирования альтернатив транспортно-складских систем методами комбинаторно-морфологического анализа и синтеза. Молодежный вестник Политехнического института: сб. статей. Тула: Изд-во ТулГУ, 2013. С. 338-339.