

**МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
ВІННИЦЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ АГРАРНИЙ УНІВЕРСИТЕТ**



Н.Р. Веселовська, О.В. Зелінська

**«МОДЕЛІ ІНТЕГРОВАНИХ КОМП'ЮТЕРНИХ СИСТЕМ
УПРАВЛІННЯ ТЕХНОЛОГІЧНИМИ ПРОЦЕСАМИ НА ОСНОВІ
СУЧАСНИХ ІНФОРМАЦІЙНИХ ТЕХНОЛОГІЙ»**

Монографія



Вінниця 2020

УДК 681.3.07:638.562

Рецензенти:

Булгаков В.М. д.т.н., проф, акад. НААН, Національний університет біоресурсів і природокористування України;

Іскович – Лотоцький Р.Д. д.т.н., проф., Вінницький національний технічний університет;

Стаднік М.І. д.т.н., проф., Вінницький національний аграрний університет.

Автори: Веселовська Н.Р., Зелінська О.В.

«Моделі інтегрованих комп'ютерних систем управління технологічними процесами на основі сучасних інформаційних технологій»

Анотація:

Монографія присвячена сучасним методикам аналізу та синтезу комп'ютерних систем управління технологічними процесами компютерних систем управління технологічними процесами в машинобудуванні, що функціонують в умовах неминучої при рішенні реальних галузевих задач управління невизначеності, яка породжується відсутністю знань точних значень параметрів об'єктів управління та характеристик діючих на них неконтрольованих збурень і завад.

Монографія охоплює усі етапи розробки по забезпеченню стійкості, якості, надійності компютерних систем управління з використанням сучасних інформаційних технологій.

ISBN

ЧАСТИНА I

ЗМІСТ

ВСТУП

РОЗДІЛ I. СИСТЕМНИЙ АНАЛІЗ ІНТЕГРОВАНИХ

КОМП'ЮТЕРНИХ СИСТЕМ УПРАВЛІННЯ ТЕХНОЛОГІЧНИМИ ПРОЦЕСАМИ

- 1.1 Інтеграційні властивості комп'ютерних систем управління технологічними процесами
- 1.2 Проектування і реалізація програмного забезпечення
- 1.3 Управління ризиками впровадження та експлуатації інтегрованих комп'ютерних систем управління технологічними процесами
- 1.4 Контрольні приклади реалізації систем управління

РОЗДІЛ II. ОСНОВИ ТЕОРІЇ МОДЕЛЮВАННЯ ІНТЕГРОВАНИХ КОМП'ЮТЕРНИХ СИСТЕМ УПРАВЛІННЯ ТЕХНОЛОГІЧНИМИ ПРОЦЕСАМИ (САПР КСУ ТП)

- 2.1. Задачі розробки моделей та узагальнене дерево функцій САПР КСУ ТП
- 2.2. Проектні критерії синтезу інтегрованих комп'ютерних систем управління технологічними процесами в системному проектуванні
- 2.3. Математичні моделі динамічних операцій інтегрованих комп'ютерних систем
- 2.4. Основні характеристики та розробка обчислювальної схеми для моделювання інтегрованих комп'ютерних систем з керованою структурою
- 2.5. Аналіз методів дослідження стійкості КСУ ТП, орієнтованих на сучасні інформаційні технології
- 2.6. Прийняття рішень в розпливчастих умовах функціонування КСУ ТП

РОЗДІЛ III. МОДЕЛІ ПРОЕКТУВАННЯ ІНТЕГРОВАНИХ КОМП'ЮТЕРНИХ СИСТЕМ УПРАВЛІННЯ ТЕХНОЛОГІЧНИМИ ПРОЦЕСАМИ

- 3.1. Загальні питання теорії проектування, методологія та методи проектування КСУ ТП
- 3.2. Організація структури системи проектування КСУ ТП
- 3.3. Моделювання інформаційного потоку та методика розрахунку основних характеристик системи
- 3.4. Основні вимоги до автоматизованої системи управління технологічним процесом в інтегрованих комп'ютерних системах управління технологічними процесами
- 3.5. Розрахунок основних характеристик ЕОМ. Математична модель інформаційного потоку

ЧАСТИНА II

РОЗДІЛ IV. ДОСЛІДЖЕННЯ ПІДСИСТЕМ ТЕХНОЛОГІЧНОГО КОМПЛЕКСУ

- 4.1 Технологічний комплекс для віброударного пресування
- 4.2 Дослідження фізико-механічних властивостей заготовок
- 4.3 Основні робочі режими інерційного вібропрес-молота
- 4.4 Дослідження інерційного вібропрес-молота з гідроімпульсним приводом
- 4.5 Оцінка ефективності роботи технологічного комплексу

РОЗДІЛ V. ПОБУДОВА МАТЕМАТИЧНИХ МОДЕЛЕЙ ТА МЕТОДІВ ОЦІНЮВАННЯ ЕФЕКТИВНОСТІ ФУНКЦІОНУВАННЯ ТЕХНОЛОГІЧНОГО КОМПЛЕКСУ

- 5.1 Оцінка ефективності функціонування технологічного комплексу
- 5.2 Моделювання системи ІВПМ
- 5.3 Класифікація оцінок ефективності та надійності роботи складових ІВПМ
- 5.4 Розробка моделі, складання й обґрунтування множин вхідних та вихідних параметрів для оцінювання ефективності функціонування технологічного комплексу
- 5.5 Побудова методу оцінювання стану технологічного комплексу на базі математичного апарату нечітких множин

РОЗДІЛ VI ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНІ ДОСЛІДЖЕННЯ ПРОЦЕСУ ФОРМОУТВОРЕННЯ ЗАГОТОВОК З ПОРОШКОВИХ МАТЕРІАЛІВ НА ВІБРОПРЕСОВОМУ ОБЛАДНАННІ З ГІДРОІМПУЛЬСНИМ ПРИВОДОМ

- 6.1 Оцінювання параметрів заготовок з порошкових матеріалів
- 6.2 Опис експериментальної установки

6.3 Аналіз експериментальних даних

6.4 Обробка результатів за допомогою прикладних програм

РОЗДІЛ VII ВДОСКОНАЛЕННЯ ТЕХНОЛОГІЧНОГО КОМПЛЕКСУ

7.1 Автоматизація розрахунку і проектування технологічного комплексу для віброударного пресування

7.2 Оцінка ефективності та прогнозування роботи технологічного комплексу

7.3 Визначення ефективності функціонування гідроімпульсного приводу

7.4 Функціонально-вартісний аналіз технологічного комплексу

ВИСНОВКИ

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

ДОДАТКИ

Додаток А Значення параметрів $a...k_1$ для показників ефективності

Додаток Б Матриці знань

Додаток В Розрахункові значення оцінювальних параметрів, функції належності, логічні рівняння груп показників та графічне відображення результатів теоретичних досліджень

Додаток Г Програма для розрахунку основних параметрів технологічного комплексу

ВСТУП

Монографія складається з двох частин, вона присвячена сучасним методикам аналізу та синтезу комп'ютерних систем управління технологічними процесами (КСУ ТП) в машинобудуванні, що функціонують в умовах неминучої при рішенні реальних галузевих задач управління невизначеності, яка породжується відсутністю знань точних значень параметрів об'єктів управління та характеристик діючих на них неконтрольованих збурень і завад. На відміну від все ще розповсюдженого підходу щодо постановки та рішення задач аналізу і синтезу КСУ ТП, які засновані на гіпотезі стохастичної природи всіх невизначених величин і процесів, в монографії відносно їх приймається лише одно передбачення: вони обмежені заданими множинними оцінками. При цьому для отримання необхідного результату створення моделей багатостадійних, багатокрокових КСУ ТП авторами запропонований новий підхід, що ґрунтується на підходах використання ідей та методів теорії і практики логіко-динамічних систем.

Монографія охоплює усі етапи розробки по забезпеченню стійкості, якості, надійності КСУ ТП з використанням сучасних інформаційних технологій.

На сьогоднішній день потрібно констатувати факт, який спостерігається десятиліттями розриву між теоретичними математичними моделями та їх методиками і інженерними методами, прийомами, засобами, що засновані на суб'єктивному узагальненому досвіді, інтуїтивно-евристичних підходах конкретних реальних розробок. А тому автори монографії поставили перед собою мету хоча б частково зняти цей розрив, вирішивши задачі системного аналізу створення теоретичного базису моделей КСУ ТП та розробки реальної САПР для машинобудівної галузі.

Перший розділ послідовно розглядає такі питання: інтеграційні властивості моделей КСУ ТП в просторі та часі, моделювання підсистем КСУ ТП на апаратному та програмному рівнях. Причому для апаратного рівня розроблені і промислово освоєнні системи вимірювання, контролю,

управління: набір різного роду аналого-цифрових, цифро-аналогових перетворювачів, первинних інформаційних перетворювачів, пропорційних, інтегральних, пропорційно-інтегральних регуляторів. Відносно програмного забезпечення такого роду розробок не існує, воно потребує індивідуального підходу для кожного досліджуваного об'єкту окремо. А тому, як за кордоном, так і в Україні у передових галузях літакобудування, ракетобудування, танкобудування, появились публікації по створенню моделей оцінки та якості програмного забезпечення.

Автори монографії рухаються в цьому ж напрямку з урахуванням специфічних особливостей своєї галузі досліджень-машинобудування. А тому в першому розділі поставлені для вирішення питання проектування і реалізації програмного забезпечення КСУ ТП. Особлива увага приділена так званим критичним системам програмного забезпечення, їх надійності, працездатності, безвідмовності, безпеці, захищеності. Потребувались розробки специфікацій критичних систем, що включають формування вимог безвідмовності, вимоги безпеки, вимоги захищеності програмних підсистем КСУ ТП. Обґрунтовані вимоги щодо програмного забезпечення КСУ ТП. Передбачені вимоги атестації програмного забезпечення КСУ ТП. Обґрунтовані вимоги формування моделей керування розробкою САПР КСУ ТП. В кінці розділу наведенні два приклади реальних об'єктів машинобудівної галузі, які в подальшому зможуть знайти своє місце як при реальній розробці САПР так і для використання в навчальному процесі.

Другий розділ присвячений розкриттю суті математичного апарату основ теорії моделювання інтегрованих комп'ютерних систем управління технологічними процесами. Розкриті цілі створення, задачі розробки, параметричні та структурні підходи щодо моделей КСУ ТП. Розкриті проектні критерії синтезу технічних систем до яких відносяться об'єкти машинобудівної галузі. Автори розкривають суть складностей аналізу технічних систем, обумовлених тим, що в перелік аналізу повинні бути включенні як різні аспекти безпосередньо технічних систем так і

взаємозв'язки з зовнішнім середовищем. Показано, що проектування технічних систем як процес є дуже своєрідним об'єктом автоматизації. Суть цієї своєрідності полягає в тому, що процес побудови складного проектного рішення тим ефективніше, чим швидше він обновлюється з появою нових задач проектування. Показано, що сучасні технічні системи не зводяться до сукупності локально функціонуючих пристроїв і підсистем. Наприклад, сучасний робот – маніпулятор представляє собою багатоцільову підсистему, що функціонує у складній взаємодії механічної, енергетичної, інформаційної підсистем по досягненню їх локальних цілей. До речі приклад перевернутого маятника, що наведений в кінці першого розділу, констатує виникаючу проблематику, особливо при включенні однотипних роботів-маніпуляторів в послідовні, паралельні, складні ланцюги взаємодії. На цьому етапі аналізу сформульована нова ціль моделювання технічних систем, яка звелась до створення математично узгоджених підсистем моделей, що забезпечили постановку проведення великого математичного експерименту, в задачах системного проектування технічних систем в галузі машинобудування. Причому, загальний об'єкт дослідження був розщеплений на підоб'єкти, що взаємодіють в просторі і часі. Декомпозиція в просторі дала можливість зменшити розміри підсистем, а декомпозиція в часі – виділити квазістаціонарні часові проміжки у вигляді стадій етапів, кроків. Таким чином утворилась деяка дворівнева логіко-динамічна система (ЛДС) [1-2]. Логічна частина реалізована у вигляді автомата Мура, часові проміжки у вигляді стадій, етапів, кроків – це динамічна диференціальна система (ДДС), що розглядається як упорядкована шестірка елементів: часу, законів управління, рівнянь стану, рівнянь виходу, рішень рівнянь стану як траєкторій внутрішнього руху підсистем, рішень рівнянь виходу ДДС. Таким чином для моделей ДДС вдалось побудувати достатньо строгу аксіоматику [6], яка відіграє визначальну роль в дослідженні внутрішніх властивостей ДДС в задачах системного проектування по визначенню керованості, спостережливості, досяжності, ідентифікованості, стійкості. Якраз цим була

частково вирішена проблема зменшення розриву між теоретичними математичними моделями та інженерними методами, прийомами, засобами.

Третій розділ присвячений розробці моделей проектування КСУ ТП. Тут послідовно розглянуті загальні питання проектування КСУ ТП, міру кількості і якості в проектуванні КСУ ТП. Розглянуті питання методології проектування КСУ ТП, де запропоновані принципи методології структури і логічної організації розчленування об'єкта і системи проектування на відповідні ієрархічні рівні вирішення проблем по представленню об'єкта розробки, включаючи вимоги, мотиви, цілі реалізації, рух засобів проектування, побудови системи, яка включає об'єкт розробки – проект – людину, адаптацію об'єкта в просторі і часі при змінах внутрішніх і зовнішніх умов функціонування об'єкта проектування. Методологія вибору структури і логічної організації системи включають у розгляд структуру і взаємозв'язки об'єкта і системи проектування, логічну організацію об'єкта і його системи проектування. Структура складної багатоланкової системи проектування здійснюється відповідними підрозділами з врахуванням різних зв'язків внутрішнього і зовнішнього характеру, які забезпечують цілісність і стабільність його функціонування. В заключній частині третього розділу наведені результати розробки узагальненої структури проектування КСУ ТП з обґрунтуванням критеріїв вибору основного його складу.

Четвертий розділ присвячений об'єкту дослідження – складній системі, яка складається з системи І – об'єкт обробки, з системи ІІ – робочий процес і системи ІІІ – машина, які об'єднуються в загальну систему технологічного комплексу. Досліджено структурні та функціональні зв'язки між складовими простіших систем та всередині них і доведено доцільність використання системного підходу.

Досліджено фізико-механічні властивості заготовок та інерційний вібропрес-молот (ІВПМ) з гідроімпульсним приводом. Розглянуто два варіанти підключення віброзбуджувача, який визначає можливість реалізації на ІВПМ різних робочих параметрів віброударного пресування. Розглянуто

класифікацію основних робочих режимів ІВПМ інерційного вібропрес-молота і виділено три робочих режими. Наявність даної класифікації значно спрощує розв'язання задач оптимізації процесів ВУП.

Проаналізовано параметри кожної з систем і залежність між собою. Доведено, що системний підхід до проблеми підвищення ефективності процесів формоутворення заготовок з порошкових матеріалів на вібропресовому обладнанні з гідроімпульсним приводом є одним з актуальних і найважливіших завдань.

Виділено моделі та методи дослідження складних систем, які в подальшому використаємо для моделювання процесу формоутворення заготовок з порошкових матеріалів на вібропресовому обладнанні з гідроімпульсним приводом.

В п'ятому розділі роботи побудовані моделі та вибрані методи для підвищення ефективності процесу формоутворення заготовок з порошкових матеріалів на вібропресовому обладнанні з гідроімпульсним приводом. Наведена загальна схема оцінювання ефективності функціонування систем короткочасної дії, систем тривалої дії. Система тривалої дії виконує деяке потрібне від неї завдання протягом інтервалу часу тривалістю t_0 , починаючи з деякого t . Ефективність функціонування такої системи залежить від конкретної реалізації процесу зміни станів системи протягом цього періоду.

Система короткочасної дії виконує завдання, тривалість вирішення яких t_0 така, що за цей час система, напевно, залишається в одному і тому ж стані. Практично можна вважати, що величина t_0 дорівнює нулю. Системи короткочасної дії є окремим випадком систем тривалої дії.

З аналізу технологічного комплексу виділено систему ІІІ (ІВПМ), від якої залежить заготовка і робочий режим. Більш уважний аналіз показує, що ефективність роботи складових ІВПМ можна покращити, використавши метод локального випадкового пошуку або алгоритмічну модель випадкового пошуку ідентифікації багатостадійного технологічного процесу. Ефективність можна покращити за рахунок використання напрацювань

експертних систем, де розроблені методи досліджень різноманітних об'єктів, що функціонують в умовах невизначеності. ІВПМ характеризується значною невизначеністю своєї поведінки. У зв'язку з цим нами розроблено підходи і алгоритми оцінювання точності чисельних розрахунків надійності та ефективності роботи елементів ІВПМ.

Створена узагальнена модель складання й обґрунтування множин вхідних та вихідних параметрів для оцінювання ефективності функціонування процесу формоутворення заготовок з порошкових матеріалів на вібропресовому обладнанні з гідроімпульсним приводом. Вперше побудований метод оцінювання процесу формоутворення на базі математичного апарату нечітких множин.

В шостому розділі для розробки рекомендацій із застосування основних режимів ВУП та врахування основних параметрів всього технологічного комплексу на основі проведених технологічних експериментів на вібропресі ІВПМ-5Л встановили деякі закономірності впливу параметрів режимів на досягнення розрахункових значень середньої щільності ρ_{cp} та відносної нерівнощільності ε_p заготовок після завершення процесу їх формоутворення. Тобто виділили параметр щільності та нерівнощільності (системи I) як основний, що характеризує якість заготовки. Визначили найкращий режим вібропресування для кожного досліджуваного матеріалу.

На основі проведених експериментальних досліджень пресування чотирьох заготовок різних матеріалів еталонних зразків на ІВПМ-5Л було отримано числову базу даних якісних характеристик досліджуваного процесу.

Графічна інтерпретація отриманих значень методом тернарних графіків в статистичному середовищі Statistica 10.1 засвідчила, що для кожного типу порошкового матеріалу найефективнішими режимами віброударного пресування є: для М1, М2 – ВУП-1; М3 – ВУП-ІІ; М4 – ВУП-ІІІ.

Статистичний аналіз експериментальних даних за методом комплексного ранжирування вхідних параметрів, оцінки моди, квантиля розмаху та нормального розподілу залишків відносно прогнозованих даних засвідчив, що оптимальними технологічними параметрами обробки матеріалів М1, М2 є $P=0,12$ МПа, М3 – $P=0,13$ МПа, М4 – $P=0,15$ МПа, проте слід зазначити зростання досліджуваних показників щільності та нерівнощільності оброблюваного матеріалу при збільшенні енергетичних характеристик обробки та зменшення частоти технологічного впливу

У цьому розділі на основі блок-схем, що є графічним зображенням розрахунку основних параметрів ІВПМ та параметрів заготовки, вперше створена програма, функціональна частина якої запрограмована на мові Java Script та вбудована у Web-сторінку для оптимізації програмного комплексу. Програма призначена для автоматизації розрахунку параметрів інерційного навантаження кінцевої продукції та побудови алгоритму методики розрахунку конструктивних параметрів ІВПМ. Переваги даної програми в тому, що вона розраховує основні значення технологічного комплексу, за якими можна аналізувати ефективність функціонування всього процесу. Вперше розрахунок основних параметрів можна побачити онлайн.

Створено спосіб визначення ефективності функціонування гідроімпульсного приводу тривалої дії. В основу корисної моделі поставлено задачу створення такого способу, в якому за рахунок введення нових операцій та їх послідовності розширюються функціональні можливості способу.

На запропоновану корисну модель отримано патент України.

Проведено оцінювання ефективності та прогнозування роботи технологічного комплексу. Охарактеризовано метод діагностики ресурсу, оцінювання ефективності роботи ІВПМ. Проаналізовано важливі задачі зв'язку та взаємовпливу між діагностикою та прогнозуванням забезпечення ефективного функціонування ІВПМ. Розроблено такі підходи: лінійного

прогнозування, середньостатистичного прогнозування та автоматизованого комп'ютерного прогнозування [55].

Для прийняття раціонального та обґрунтованого рішення використали функціонально-вартісний аналіз. ФВА базується на системному дослідженні структури функцій об'єкта, зіставленні їхньої корисності та вартості реалізації з метою забезпечення необхідної корисності системи при мінімально можливих сукупних затратах. Прийняття рішень при ФВА здійснювали на основі двох критеріїв – корисності та вартості. Перевагу корисності над вартістю має операція «вибір режиму пресування», вибір цієї технологічної операції забезпечить мінімізацію енергоємності технологічного процесу та якість заготовки з порошкового матеріалу.

РОЗДІЛ I. СИСТЕМНИЙ АНАЛІЗ ІНТЕГРОВАНИХ КОМПЮТЕРНИХ СИСТЕМ УПРАВЛІННЯ ТЕХНОЛОГІЧНИМИ ПРОЦЕСАМИ

Системотехніка, як технологія розробки КСУ ТП, охоплює процеси створення специфікацій, проектування, розробки, тестування, впровадження і супроводу як *єдиного цілого*. Системотехніка, що займається розробкою КСУ ТП, не зосереджена тільки на програмному забезпеченні, вона надає рівну увагу апаратним засобам та засобам взаємодії з користувачами і системним оточенням. Фахівець із створення програмного забезпечення КСУ ТП повинен врахувати задачі системотехніки, оскільки проблеми, що виникають, часто є результатом рішень, прийнятих відповідними фахівцями.

Існує безліч найрізноманітніших визначень поняття "система", від надзвичайно абстрактних до специфічно конкретних. З нашої точки зору найвдалішим буде таке визначення:

Система- це сукупність взаємодіючих компонентів, що працюють спільно для досягнення визначеної мети.

Приведення визначення охоплює широке коло систем. Наприклад, така проста система, як олівець, складається з двох або декількох "апаратних" компонентів, тоді як система управління складним технологічним процесом складається з тисяч апаратних і програмних компонентів, плюс фахівців, які приймають і ухвалюють рішення на основі даних, що надаються інформаційними підсистемами.

Визначальною ознакою системи є те, що властивості і поведінка системних компонентів впливають один на одного складним чином. Коректне функціонування кожного системного компоненту залежить від багатьох чинників. Так, операційне забезпечення може виконувати свої функції, за умови, що працює процесор і відповідні апаратні засоби. Процесор може виконувати обчислення, тільки за умови, що коректно інсталювані програмні елементи, які задають ці обчислення.

КСУ ТП, як правило, мають ієрархічну структуру, тобто складаються із низки підсистем. Визначальна властивість підсистем полягає у тому, що вони

можуть функціонувати самостійно, незалежно від інших підсистем. Разом з тим їх поведінка у складі будь якої конкретної КСУ ТП залежить від взаємодії з іншими підсистемами.

Складність взаємодії між системними компонентами означає, що система не зводиться просто до суми її складових частин. Вона має певні характеристики, які властиві їй саме як цілісній системі. Такі *інтеграційні властивості* не можуть бути властивостями якось окремої частини системи. Більш того, вони виявляються тоді, коли система розглядається як єдине ціле. Деякі з цих властивостей можна вивести з аналогічних властивостей окремих підсистем, але частіше вони є комплексним результатом взаємодії всіх підсистем і їх неможливо оцінити, виходячи з аналізу окремих системних складових. Приведемо приклади інтеграційних властивостей КСУ ТП:

- *Сумарний розмір системи.* Це приклад інтеграційного показника системи, який можна обчислити, виходячи тільки з властивостей окремих компонентів.
- *Безвідмовність системи.* Ця властивість залежить від безвідмовності окремих компонентів і взаємозв'язку між ними.
- *Зручність експлуатації системи.* Ця складна багатопараметрична властивість, яка залежить не тільки від програмного забезпечення і апаратних засобів КСУ ТП, але також від оточення, в якому вона експлуатується і від кваліфікації системних фахівців.

1.1. Інтеграційні властивості комп'ютерних систем управління технологічними процесами

Як наголошувалося вище, інтеграційні властивості систем виявляються тільки тоді, коли система розглядається як єдине ціле. Існує два типи інтеграційних властивостей.

1. Функціональні властивості, які виявляються тільки тоді, коли система працює як єдине ціле. Наприклад, промисловий робот, що рухається

в цеху, має функціональні властивості транспортного засобу тільки тоді, коли його зібрано із своїх компонентів.

2. Нефункціональні властивості: безвідмовність, продуктивність, безпека і захищеність (обмеження несанкціонованого доступу до системи), які залежать від поведінки системи в операційному оточенні. Такі властивості часто є критичними для обчислювальних систем, оскільки якщо вони не досягають визначеного мінімального рівня, то система не буде працездатною. Разом з тим система, не- надійна або неефективна в своїх окремих функціях, вважається непрацездатною.

Щоб проілюструвати складність визначення інтеграційних властивостей, розглянемо такий показник системи, як безвідмовність. Це комплексний показник, який завжди слід розглядати на рівні системи, а не її окремих компонентів. Компоненти в системі взаємопов'язані, так що збій в одному компоненті може поширитися по всій системі і викликати у відповідь реакцію в інших компонентах. Проектувальники часто не можуть передбачити послідовність розповсюдження збоїв в системі, тому важко оцінити безвідмовність тільки на підставі даних про безвідмовність її окремих компонентів.

Існує три тісно пов'язані між собою фактори, які впливають на загальну безвідмовність КСУ ТП:

1. *Безвідмовність апаратних засобів.* Цей показник визначається вірогідністю виходу із ладу окремих апаратних компонентів і часом, необхідним на їх заміну.

2. *Безвідмовність програмного забезпечення.* Цей показник роботи компоненту ПЗ без збоїв і помилок. Програмні помилки не впливають на апаратні засоби системи. Тому система може продовжувати функціонувати навіть тоді, коли ПЗ видає некоректні результати.

3. *Помилки операторів.* Оператори, які експлуатують систему, також можуть допускати помилки в своїй діяльності.

Всі перераховані фактори тісно пов'язані між собою. Збої в апаратних засобах можуть породити неправдиві сигнали, які потім поступають на вхід

програмних компонентів, що, у свою чергу, може привести до непередбачуваної поведінки програмного забезпечення. Оператори зазвичай допускають помилки в нештатних ситуаціях, коли система поводить незвичайним чином. Такі ситуації часто породжуються якимись збоєм в системі. Неправильні дії оператора, у свою чергу, можуть спровокувати збої і помилки в роботі апаратних засобів, що також може призвести до подальшого розповсюдження збійних і невірних сигналів по системних ланцюгах. Таким чином, невелика помилка, що виникла в одній підсистемі і яку в принципі можна легко усунути, може призвести до ситуації, що вимагає повного відключення системи.

Безвідмовність системи також залежить від оточення, в якому вона експлуатується. Як згадувалось вище, важко передбачати системне оточення, в якому буде експлуатуватися система. Іншими словами, складно описати оточення у вигляді обмежень, які повинні бути враховані при розробці системи. Підсистеми, що утворюють цілу систему, можуть по-різному реагувати на зміни в системному оточенні, тим самим впливати на загальну безвідмовність системи найнепередбачуванішим чином. Тому, навіть якщо система є єдиним цілим, буває важко або зовсім неможливо виміряти рівень її безвідмовності.

Припустимо, система призначена для експлуатації при нормальній кімнатній температурі. Для того щоб система могла функціонувати при інших температурних режимах, її електронні компоненти повинні бути розраховані для роботи в визначеному температурному інтервалі, скажімо, від 0 до 45°. При виході з цього температурного інтервалу компоненти можуть поводитися непередбачуваним чином. Тепер припустимо, що система є внутрішньою складовою частиною повітряного кондиціонера. Якщо кондиціонер несправний і жене гаряче повітря через електронні компоненти, то вони, і як наслідок, і вся система можуть вийти з ладу. Якщо кондиціонер працює нормально, то система також повинна працювати нормально. Але внаслідок фізичної замкнутості кондиціонера може

виникнути непередбачений вплив різних компонентів пристрою один на одного, що також може призвести до різноманітних збоїв.

Подібно безвідмовності, інші інтеграційні характеристики (наприклад виробництво і зручність експлуатації) також є важкими для визначення, але вони можуть бути оцінені в процесі експлуатації системи. Оцінка інших властивостей, наприклад безпеки системи і її захищеності, породжує великі труднощі. Ці властивості не просто притаманні працюючій системі, вони відображають ті характеристики, які вона не показує.

Наприклад при розробці заходів захищеності, де одним з показників є неможливість несанкціонованого доступу до даних, порівняно легко прорахувати всі можливі режими доступу до даних і виключити небажані. Тому оцінити рівень захищеності можна тільки через характеристики системи, властиві їй після умовчання. Більш того, система вважатиметься такою, що володіє властивістю захищеності до тих пір, поки хтось не зламає її засобу захисту.

Будь-яка система залежить від сигналів, даних або іншої інформації, що поступає на її вхід; іншими словами, система функціонує в певному оточенні, яке впливає на її функціонування і продуктивність. Іноді оточення можна розглядати як самостійну над систему, що складається з безлічі інших підсистем, які впливають одна на одну.

На рис. 1.1. показано декілька підсистем, об'єднаних в систему життєзабезпечення офісної будівлі. Система опалювання, електроенергетична система, система освітлення, система водопостачання і каналізації і система безпеки є підсистемами будівлі, яку, у свою чергу, також можна розглядати як систему. Будівля розташована на вулиці, яка також є системою більш високого рівня. Вулиця буде підсистемою системи міста і т.і. Таким чином, оточення якоїсь системи саме є системою більш високого рівня. У загальному випадку оточення будь-якої системи — це композиція її локального оточення і оточення системи більш високого рівня.

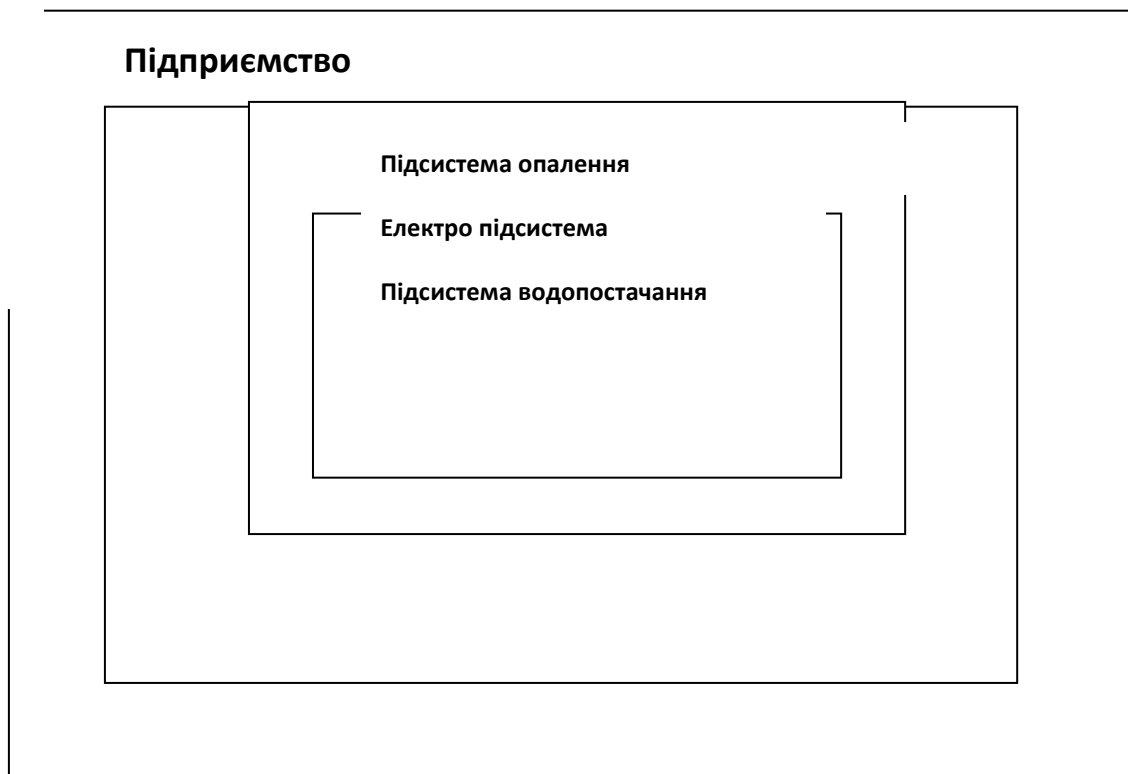


Рис 1.1. Ієрархія підсистем КСУ ТП

Розглянемо підсистему безпеки, що входить в систему життєзабезпечення будівлі (див. рис. 1.1). Її локальне оточення складається з інших систем цієї будівлі. До оточення системи також необхідно віднести системи, що не входять в систему будівлі, але відносяться до системи вулиці і системі міста, включаючи природні системи, зокрема погоду (тобто дія погодних чинників на систему безпеки).

Приведемо дві основні причини, що зумовлюють необхідність враховувати при розробці систем їх оточення.

1. У багатьох випадках система призначена для реагування на зміну визначених параметрів оточення. Так, система опалювання реагує на зміни температури в навколишньому середовищі, підвищуючи або знижуючи температуру своїх опалювальних приладів. Тут правильне функціонування системи виявляється саме як реакція на зміни параметрів оточення.

2. Часто якість функціонування системи залежить від параметрів оточення найнепередбачуванішим чином. Так, система електрооснащення напряму залежить від вуличного оточення будівлі. Наприклад роботи, які працюють по благоустрою вулиці, по необережності можуть пошкодити силовий кабель і, як наслідок вивести

з ладу всю систему електрооснащення будівлі. Або грозовий розряд може індукувати великі струми в електричній системі, що може порушити її нормальне функціонування.

Крім фізичного оточення (оточуючого середовища), показаного на рис. 1.1, системи можуть знаходитися у певних відносинах з організаційним оточенням, яке включає в себе правила і процедури, що базуються на політичних, економічних та екологічних пріоритетах суспільства. Якщо система побудована без урахування організаційного оточення, вона може не знайти попиту на ринку системних продуктів і буде відкинута користувачами і потенційними споживачами.

На розробку систем впливають як людські, так і організаційні фактори, які входять в оточення системи.

1. *Експлуатаційний фактор.* Система вимагає внесення змін в робочий процес її експлуатації залежно від зміни параметрів оточення. Якщо відповідь на це питання є позитивною, то необхідне навчання персоналу, що експлуатує цю систему. Якщо навчання тривале, або персонал може втрачати в заробітку, існує вірогідність, що така система буде знехтувана користувачем.

2. *Фактор персоналу.* Чи може впровадження системи призвести до зниження вимог до кваліфікації персоналу або корінним чином змінити способи його роботи? Якщо це так, тоді персонал може протистояти впровадженню системи в їх організацію. Менеджери середньої ланки, які керують проектами, часто підозрюють, що їх статус в організації знизиться після впровадження комп'ютерних систем.

3. *Організаційний фактор.* Іноді впровадження системи може змінити структуру власних повноважень в організації. Наприклад, якщо діяльність організації напряму залежить від правильного функціонування складної системи, оператори цієї системи можуть мати значну вагу у владній структурі організації.

Ці людські, соціальні, організаційні фактори часто бувають критичними при ухваленні рішення про те, буде чи ні впроваджуватися система. На жаль, передбачити ці фактори дуже складно, особливо якщо розробники системи не володіють достатнім соціальним і культурним досвідом. Щоб допомогти передбачити різні ефекти від упровадження систем в організацію, розроблені спеціальні методології, як наприклад соціотехніка Мамфорда (Mumford) [3], методологія програмних систем Чекланда (Checkland) [4, 5].

В ідеалі всі відомості про системне оточення слід включити в специфікацію системи для того, щоб розробники могли їх врахувати при проектуванні. Але в реальній діяльності це неможливо. Зазвичай розробники систем роблять припущення щодо системного оточення на основі досвіду експлуатації інших подібних систем, або керуючись із здоровим глуздом. Якщо вони помиляться, то система може в деяких ситуаціях функціонувати некоректно. Наприклад, якщо розробники не врахують можливі наведення на систему, то вона може вийти з ладу, якщо поблизу неї будуть розташовані інші системи з великим електромагнітним випромінюванням.

В процесі формалізації вимог до системи і на етапі проектування система розглядається як сукупність компонентів і взаємозв'язків між ними. Для цього використовуються моделі системної архітектури, які в графічному вигляді представляють всю організацію системи, тобто її компоненти і взаємозв'язки між ними.

Архітектура системи звичайно представляється у вигляді блокової діаграми (блок-схеми), де блоки відповідають основним підсистемам, а існуючі зв'язки між підсистемами позначаються лініями із стрілками, що з'єднують окремі блоки діаграми. Зв'язки можуть відповідати потокам даних, послідовності включення підсистем в роботу або якимось іншим типам залежності.

Функціональні підсистеми системи сигналізації:

- Датчики руху реагують на рух в кімнатах, які контролює система.

- Дверні датчики визначають, чи відкриті зовнішні двері будинку
- Контролер керує дією всієї системи.
- Сирена видає сильний звуковий сигнал при незаконному вторгненню в приміщення.
- Синтезатор голосу синтезує голосове повідомлення про проникнення до будинку.
- Телефонний інформатор робить зовнішній телефонний дзвінок для повідомлення службі безпеки (наприклад, поліції) про проникнення до будинку.

На цьому рівні деталізації система розбивається на окремі підсистеми. Кожна підсистема, у свою чергу, може бути представлена як декомпозиція своїх функціональних компонентів. Це ті компоненти підсистеми, які, виходячи з призначення підсистеми, виконують якусь одну функцію. На противагу цьому підсистема звичайно виконує декілька функцій. Звичайно, декомпозицію підсистем (і самої системи) можна проводити за іншими ознаками, наприклад конструктивними або технологічними.

Історично склалось так, що модель системної архітектури використовується для розчленовування апаратних і програмних компонентів системи, які розробляються паралельно. Разом з тим, співвідношення "апаратні засоби — програмне забезпечення" в сучасних системах найчастіше недоречне і неістотне, оскільки практично всі системні компоненти мають визначені обчислювальні можливості. Наприклад, машини, які зв'язують безліч комп'ютерів в єдину мережу, складаються з репітерів, мережевих шлюзів і з'єднувальних кабелів. Репітери і шлюзи мають процесори і програми, які керують цими приладами, і, звичайно ж, інші електронні компоненти.

На рівні системної архітектури раціональніше класифікувати підсистеми в залежності від функцій, які вони виконують не акцентуючи спеціальної увагу на тому, чи є вони апаратними, чи програмними компонентами. Питання про те, буде дана функція реалізована апаратно чи

програмно, часто розв'язується на основі нетехнічних факторів, таких, наприклад, як час, необхідний для створення компоненту, або при наявності на ринку промислових виробів відповідних готових пристроїв.

Функціональні компоненти КСУ ТП

Як наголошувалося в попередньому розділі, системна архітектура описується в термінах функціональних підсистем, незалежно від того є ці підсистеми апаратними чи програмними. Разом з тим, функціональні компоненти в системі можна класифікувати згідно цілого ряду категорій, деякі з них приведені нижче:

1. *Сенсорні компоненти* – збирають інформацію про системне оточення. Прикладами можуть служити радіолокатори в системі управління польотами, датчик стану паперу в лазерному принтері або термopара в опалювальній камері котла.

2. *Виконуючі компоненти* – виконують деякі дії в оточенні системи. Прикладами можуть служити регулюючий клапан, який закриває або відриває заслінку в трубопроводі для зменшення або збільшення швидкості потоку рідини в ньому, закрилки крил літака, які керують кутом нахилу літака, механізм подачі паперу в лазерному принтері

3. *Обчислювальні компоненти* — на їх вхід поступають визначені дані, в залежності від яких вони виконують обчислення, потім на виході одержують нові дані. Прикладом обчислювального компоненту є математичний співпроцесор, який виконує обчислення з числами в експоненційному форматі.

4. *Комунікаційні компоненти* – надають можливість іншим системним компонентам обмінюватися інформацією. Як приклад назвемо мережеві інтерфейсні плати комп'ютерів, об'єднаних в локальну мережу.

5. *Координуючі компоненти* – погоджують роботу інших компонентів. Прикладом є планувальник завдань в системах реального часу. Планувальник визначає, який процес в даний момент часу може опрацьовуватися процесором.

6. *Інтерфейсні компоненти* – перетворюють систему уявлень, якими оперує один системний компонент, в систему уявлень, які використовує інший

компонент. Прикладом "людського" інтерфейсного компоненту може служити модель якоїсь системи і представлення її у вигляді, зрозумілому іншій людині. Іншим прикладом є аналого-цифровий перетворювач, який перетворює аналоговий сигнал в послідовність чисел.

Етапи процесу створення системи: визначення вимог, проектування систем, розробка підсистем, збирання підсистем, збірка систем, введення системи в дію, вдосконалення системи, виведення системи із експлуатації. Ці етапи значно впливають на процес розробки програмного забезпечення відповідно до каскадної моделі. Опишемо основні відмінності між процесом створення систем і процесом розробки програмного забезпечення.

1. *Залучення в процес розробки систем різноманітних інженерних дисциплін.* Процес створення систем вимагає залучення різноманітних інженерних дисциплін. Це може призвести до значних ускладнень при розробці систем, оскільки кожна дисципліна використовує свою термінологію.

2. *Невеликий масштаб повторних робіт при розробці систем.* Після ухвалення рішень в процесі розробки систем (наприклад, про установку визначених типів радіолокаторів в системі управління польотами), внесення змін в систему може виявитися надто дорогим. Перепроєктування системи часто просто неможливе. Це одна з причин широкого використання програмного забезпечення (ПЗ) при створенні найрізноманітніших систем — програмні компоненти роблять системи гнучкими і дозволяють внести зміни в розроблювану систему у відповідь на нові вимоги, що пред'являються до неї.

В команду розробників систем неминуче включаються спеціалісти різних профілів. Команда розробників повинна володіти широким колом знань, щоб всебічно розглянути всі системні можливості при прийнятті будь-яких рішень.

Для багатьох систем існує практично нескінченна кількість способів декомпозиції (розбиття) системи на підсистеми. При цьому спеціалісти

різних профілів можуть пропонувати різні варіанти структурної моделі системи, які будуть вміщувати різні функціональні компоненти. Тим самим робить можливим щонайширший діапазон альтернативних моделей. Вибір певної моделі не обов'язково ґрунтується не тільки на технічних аргументах. Нехай, наприклад, однією з альтернатив в розробці КСУ ТП є установка нової вимірювальної системи замість модернізації існуючих. Якщо в команду розробників входять будівельники, то вони можуть наполягати на значні будівельні витрати, оскільки це забезпечить роботою і їх, і будівельні підрозділи, які вони представляють. При цьому для обґрунтування потрібного варіанту можуть, звичайно, притягуватися і технічні аргументи.

Оскільки ПЗ за своєю природою є гнучким і порівняно легко налагоджується, часто рішення багатьох несподіваних проблем перекладається на плечі спеціалістів з програмного забезпечення. Хай, наприклад, при створенні КСУ ТП невдало вибрано місцезосташування однієї радарної установки — на екрані локатора іноді може відбуватись роздвоєння зображень. Для усунення цього ефекту необхідно пересунути радарну установку, що практично не можливо. Рішенням цієї проблеми може бути створення спеціального ПЗ, яке усунути роздвоєння зображень. Але в цьому випадку може бути потрібна потужніша обчислювальна техніка, ніж та, яка спочатку планується, але й вона у свою чергу, також може стати певною проблемою.

Перед фахівцями з програмного забезпечення часто ставляться завдання, які необхідно вирішувати без збільшення вартості апаратних засобів. Тому багато так званих програмних помилок не є наслідком якихось "вроджених" рис або властивостей ПЗ. Вони можуть бути результатом спроби модернізувати програмне забезпечення відповідно до змін вимог, що пред'являються до створюваної системи.

Визначення системних вимог КСУ ТП. На етапі визначення системних вимог формуються і формалізуються вимоги до системи, що розглядається як єдине ціле. Як і при аналізі вимог до програмного

забезпечення, тут також необхідні консультації із замовниками системи і її користувачами. На етапі визначення вимог звичайно формуються вимоги трьох типів.

1. Загальні функціональні вимоги. Основні функції, які виконує система, визначаються на найвищому (абстрактному) рівні представлення системи. Деталізація функціональних вимог відбувається вже на рівні підсистем. Наприклад, при розробці СУП обов'язково має бути передбачена вимога мати базу даних польотів, які виконуються в контрольованому системою повітряному просторі. Проте структура цієї бази даних не буде визначена до тих пір, поки не будуть відпрацьовані вимоги до інших підсистем.

2. Системні властивості. Це ті інтегровані властивості системи, які обговорювалися вище. Вони можуть включати такі властивості, як продуктивність, безвідмовність, захищеність. Ці нефункціональні властивості впливають на всі вимоги, визначені для підсистем.

3. Властивості, яких не повинно бути в системі. Інколи набагато важливіше визначити чого система не повинна робити, ніж те, що вона повинна виконувати. Наприклад, в КСУ ТП бажано, щоб система не надавала операторам занадто багато інформації, тільки найнеобхіднішу, яка не відволікає їхньої уваги.

Важливою частиною етапу визначення вимог є опис безлічі цілей, виконання яких повинна прагнути система. Вони не обов'язково мають бути виражені в термінах функціональних властивостей системи, але повинні показати, як вона буде поводитися в своєму оточенні.

Щоб проілюструвати опис безлічі цілей, розглянемо об'єднану систему протипожежної безпеки і захисту від несанкціонованого вторгнення, призначеної для встановлення в офісній будівлі. Цілі, які ґрунтуються на функціональних можливостях системи, можна сформулювати таким чином:

Система повинна забезпечити попередження про спалахи, які виникають усередині або поблизу споруди і несанкціоноване проникнення в цю споруду.

Ця мета точно описує призначення системи, яка повинна попереджати про будь-які небажані події. Таке формулювання мети підходить для існуючих систем безпеки, і яка повинна бути замінена. На противагу цьому можна сформулювати "ширшу" мету.

Система повинна гарантувати відсутність серйозних порушень в нормальному режимі функціонування та експлуатації споруди внаслідок спалахів і незаконних вторгнень.

Перше формулювання мети обмежує можливості проектування системи. Згідно з нею від несанкціонованих проникнень можна застосувати важкі захисні засоби навіть без внутрішньої системи сигналізації, а для захисту від вогню можна використовувати автоматичну систему пожежогасіння з розбризкувачами води. Але такі засоби можуть вивести з ладу електричну систему і заподіяти серйозних незручностей працівникам, які знаходяться в будівлі.

Основна складність у визначенні системних вимог полягає у тому, що система будується для того, щоб допомогти у вирішенні "злісної" проблеми. "Злісна" проблема — це проблема такої великої складності, яка має стільки взаємопов'язаних вхідних дій, що її неможливо точно визначити. Істинна природа такої проблеми може виявитися тільки в процесі її вирішення. Як екстремальний приклад "злісної" проблеми можна навести проблему передбачування землетрусів. В даний час не існує точних способів прогнозу ні епіцентру землетрусу, ні його часу, ні сили, ні дії на навколишнє середовище. Тому неможливо наперед повністю спланувати всі дії на випадок великого землетрусу — це можна зробити тільки тоді, коли він відбудеться.

Проектування КСУ ТП Проектування системи полягає у визначенні системних компонентів на основі функціональних вимог до системи. Процес проектування складається з декількох етапів:

1. *Групування вимог.* Вимоги аналізуються і розбиваються на окремі групи. Звичайно безліч вимог можна розбити на групи багатьма способами,

на цьому етапі зберігаються всі "життєздатні" розбиття.

2. Визначення підсистем. Визначаються підсистеми, які індивідуально або разом реалізують системні вимоги. Група вимог звичайно проектується для декількох підсистем, тому можна об'єднати декілька вимог в одну. Разом з тим на визначення систем впливають не тільки системні вимоги, але й організаційні або виробничі фактори.

3. Розподіл вимог по підсистемах. У принципі ця операція повинна бути виконана на попередньому етапі визначення підсистем. Але на практиці не завжди можна чітко погодити розбиття вимог і визначення підсистем. Або, наприклад, обмежений асортимент підсистем, які можна придбати у зовнішніх постачальників може привести до перегляду вимог до системи.

4. Специфікування функціональних характеристик підсистем. Визначаються функціональні характеристики кожної підсистеми. Якщо підсистема є програмною, цей етап буде частиною етапу створення специфікації для даної підсистеми. На цьому етапі також формалізуються взаємостосунки між підсистемами.

5. Визначення інтерфейсів підсистем. Для кожної підсистеми визначається свій інтерфейс. Тільки після цього можна починати розробку самих підсистем.

Для більшості систем можна розробити декілька проектів. Це робить можливим широкий діапазон рішень, що складаються з різних комбінації апаратних і програмних компонентів і людського чинника. Для подальшої розробки вибирається рішення, що відповідає системним вимогам. Разом з тим на вибір часто впливають організаційні і політичні фактори. Наприклад, якщо система розробляється на замовлення уряду, зазвичай вибираються національні постачальники деталей комплектуючих, навіть якщо за визначеними параметрами вони (комплектуючі) поступаються зарубіжним; це, природно, впливає на вибір проекту системи.

Розробка підсистем КСУ ТП. На цьому етапі реалізуються ті підсистеми, які були визначені на етапі проектування системи. Для окремих

підсистем етап розробки може вимагати включення різних процесів системотехніки. Так, якщо підсистема є програмною системою, етап розробки включатиме процеси формалізації вимог, проектування, створення і т.д. Іноді розробка всіх підсистем починається «з нуля». Але частіший буває так, що деякі підсистеми можна придбати на ринку промислових виробів і потім інтегрувати в створювану систему. Зазвичай буває дешевше купити готовий виріб, ніж розробляти власну підсистему. На цьому етапі може виникнути необхідність повернутися до етапу проектування для того, щоб на рівні вимог "підігнати" куплений виріб до системи. Цей виріб може не задовольняти всіх вимог, які пред'являються до компоненту, який він заміщає, але якщо асортимент комерційних продуктів достатньо широкий, затрати на повторне проектування невеликі.

Всі підсистеми, як правило, розробляються паралельно. Якщо виникають внутрішні проблеми, які переривають процес розробки підсистем, можливо потрібна модифікація всієї системи. Коли система в значній мірі складається з апаратних компонентів, проведення модифікації системи після початку виробництва її компонентів може виявитися занадто витратним. Доводиться знаходити якесь "обхідне" рішення для виходу з подібних ситуацій. Часто таким рішенням є включення в систему програмних компонентів, оскільки вони достатньо гнучкі і порівняно легко піддаються модифікаціям. У свою чергу, це веде до зміни вимог, що пред'являються до програмного забезпечення, і, як підкреслювалося, до змін в проекті ПЗ.

Збірка компонент КСУ ТП. Збірка є інтеграцією незалежно розроблюваних підсистем в єдину закінчену систему. В процесі збирання може використовуватися метод «великого вибуху», коли всі підсистеми інтегруються одночасно. Але з технічних та організаційних причин має перевагу послідовне збирання при якій окремі підсистеми інтегруються в систему по черзі, одна за одною.

Процес послідовного збирання більше відповідає системній інтеграції з двох причин:

1.Звичайно неможливо скласти такий графік робіт, при якому в усіх підсистемах етап розробки закінчується одночасно.

2. Послідовне збирання зменшує кількість помилок, пов'язаних з невірною інтеграцією системи. Якщо одночасно інтегрується декілька підсистем, то причиною знайденої в процесі тестування помилки може бути будь-яка з них. Якщо інтегрується одна підсистема у вже створену систему, то причиною знайденої помилки, найімовірніше, буде остання інтегрована підсистема або заново встановлені зв'язки між нею і існуючими підсистемами.

Помилки і дефекти окремих підсистем і системи в цілому часто виявляються саме на етапі складання. Це може викликати полеміку і конфлікти між розробниками різних підсистем щодо того, чию підсистему визнати за "винну" в цьому. Найнеприємнішим в даній ситуації є те, що на рішення виниклих проблем може знадобитись кілька тижнів, а то і місяців роботи.

Інсталяція підсистем КСУ ТП. При інсталяції система "занурюється" в те оточення, в якому вона повинна працювати. В процесі інсталяції складних систем можуть виявитися різноманітні проблеми, на рішення яких часом йде кілька місяців, а то і років. Серед них можуть бути проблеми, описані нижче.

1. Оточення, в якому інсталується система, відрізняється від того, для якого вона спроектована. Це загальна проблема, яка часто виникає при інсталяції ПЗ. Наприклад, програмна система може використовувати функції, які представляє тільки певна версія операційної системи. Проте версія, яка визначає поточне оточення програмної системи, що інсталується, може не мати цих функцій. У цьому випадку після інсталяції система може не працювати зовсім або деякі з її функції виявляться не реалізованими.

2. Потенційні користувачі можуть вороже ставитись до впровадження цієї системи в своїй організації. Це може зменшити відповідальність і кількість робіт, необхідних для впровадження системи в даній організації. Люди можуть свідомо

відмовлятися від співпраці з фахівцями, які інсталиують систему. Наприклад, вони можуть відмовлятися від навчання працювати з цією системою або не надавати інформацію, необхідну для інсталяції системи.

3. Нова система може співіснувати із старою до тих пір, поки в організації, де вона інсталиується, не впевняться, що нова система працює так, як потрібно. Це може призвести до зазначених проблем при інсталяції системи, особливо якщо нова і стара системи не є повністю незалежними, а мають якісь спільні компоненти. Трапляються ситуації, коли нову систему взагалі неможливо впровадити без деінсталяції старої системи. При цьому випробування нової системи можна провести тільки тоді, коли стара система не функціонує.

4. При інсталяції можливі також чисто фізичні проблеми. Можуть виникнути складнощі при пристосуванні системи до тієї будівлі, де вона інсталиується. Ця будівля може не мати достатньої кількості приміщень з каналами для мережевих кабелів, можуть знадобитись додаткові повітряні кондиціонери або інші вбудовані в будівлю прилади і т.п. А якщо це пам'ятник історії, що охороняється законом, то при інсталяції системи зміни в будівлі взагалі неможливі.

Введення КСУ ТП в експлуатацію. Після того як система інсталиована, її необхідно ввести в експлуатацію. Це передбачає проведення навчання системних операторів і зміну їх звичайного робочого процесу для того, щоб ефективніше використовувати нову систему. На цьому етапі можуть виникнути непередбачувані проблеми, якщо системна специфікація має помилки або недоліки. Поки система функціонує відповідно до специфікації, ці дефекти можуть не виявитися, і тому розробники можуть не передбачити відповідних режимів експлуатації системи.

Наприклад, проблемою, яка може виявитися тільки після введення системи в експлуатацію, є сумісність нової і існуючих систем. Це може бути чисто фізичною проблемою сумісності. Можливі також проблеми при передачі даних від однієї системи до іншої. Складнішою проблемою може стати відмінність інтерфейсів різних систем. Тоді введення в експлуатацію

нової системи може призвести до зростання кількості помилок системних операторів унаслідок неправильного використання інтерфейсних команд нової системи.

Еволюція КСУ ТП. Великі та складні системи мають дуже довгий термін життя. Протягом свого існування вони вдосконалюються шляхом виправлення помилок у вихідних системних вимогах, а також для обліку нових вимог, що пред'являються до них. Обчислювальні компоненти систем замінюються новими, більш досконалішими компонентами. Організації, які експлуатують систему, можуть бути реорганізовані і, отже, використовувати систему інакше, ніж передбачалось спочатку. Може змінитися внутрішнє оточення системи, що також вимагає внесення змін до неї.

Необхідність еволюції систем, як і програмного забезпечення, викликана рядом причин:

1. Запропоновані зміни в технічних і ділових областях, отримано на основі ретельного аналізу перспектив розвитку цих областей. Тут необхідно враховувати думку широкого кола фахівців, перш ніж ухвалювати будь-які рішення.

2. Оскільки системи ніколи не бувають повністю незалежними одна від одної, зміни в одній підсистемі обов'язково вплинуть на продуктивність або поведінку інших підсистем. Отже, при внесенні змін в одну підсистему необхідні зміни практично у всіх підсистемах.

3. Причини, що приводять до ухвалення визначених рішень на первинному етапі проектування початкової системи, рідко протоколюються або взагалі фіксуються. Це може спричинити перегляд певних рішень, прийнятих на первинному етапі проектування, а отже, зміни в самій системі.

4. Із збільшенням "віку" системи її структура внаслідок зроблених раніше змін порушується, що, у свою чергу, призводить до зростання витрат на її модифікацію.

Внаслідок постійного зростання залежності нашого суспільства від систем найрізноманітніших типів значно більше зусиль докладається для

вдосконалення існуючих систем, ніж для розробки нових. Такі раніше створені системи, які необхідно зберегти (шляхом їх модернізації), інколи називають *успадкованими системами*.

Вивід КСУ ТП з експлуатації. Вивід із експлуатації означає вилучення системи з її оточення після закінчення терміну служби. Часто це не передбачає ніяких ускладнень. Але деякі системи можуть містити матеріали потенційно небезпечні для навколишнього середовища. Системотехніки повинні передбачити процедуру виводу такої системи із експлуатації ще на етапі її проектування. Наприклад, використані в системі токсичні хімічні сполуки повинні знаходитись в герметичних контейнерах, кожен з яких можна видалити з системи як окремий елемент для подальшої утилізації.

При деінсталяції програмного забезпечення звичайно не виникає фізичних проблем. Разом з тим, деякі програмні компоненти можуть бути інкорпорованими в систему, необхідній для деінсталяції ПЗ; наприклад, якщо ПЗ використовувалось для моніторингу стану інших системних компонентів.

Після виводу системи із експлуатації деякі її компоненти можуть використовуватися в інших системах. Якщо дані з деінстальованої системи мають бути повернені в організацію, то можна використати якісь інші системи. Ці дані часто мають значну вартість.

Як вже наголошувалося, модель процесу створення програмного забезпечення —це загальне абстрактне представлення даного процесу. Кожна така модель представляє процес створення ПЗ в певному "розрізі", використовуючи тільки певну частину всієї інформації про процес. У даному розділі представлені узагальнені моделі, які базуються на архітектурному підході. У цьому випадку можна побачити всю структуру процесу створення ПЗ, абстрагуючись від окремих деталей його етапів. Ці узагальнені моделі не містять точного опису всіх стадій процесу створення ПЗ. Навпаки, вони є корисними абстракціями, що допомагають використати різні підходи і технології до процесу розробки. Крім того, очевидно, що процес створення

великих систем складається з безлічі різних процесів, що ведуть до створення окремих частин великої системи.

У цьому розділі розглядаються наступні моделі створення програмного забезпечення:

1. *Каскадна модель.* Основні базові види діяльності, які виконуються в процесі створення ПЗ (такі, як розробка специфікації, проектування і виробництво, атестація і модернізація ПЗ), представляються як окремі етапи цього процесу.

2. *Еволюційна модель розробки ПЗ.* Тут послідовно чергуються етапи формування вимог, розробки ПЗ і його атестації. Первинна програмна система швидко розробляється на основі певних абстрактних загальних вимог. Потім вони уточнюються і деталізуються відповідно до вимог замовника. Далі система допрацьовується і атестується відповідно до нових уточнених вимог.

3. *Модель формальної розробки систем,* базуються на розробці формальної математичної специфікації програмної системи і перетворенні цієї специфікації за допомогою спеціальних математичних методів у виконавчі програми. Перевірка відповідності специфікації і системних компонентів також виконується математичними методами.

4. *Модель розробки ПЗ на основі раніше створених компонентів* припускає, що окремі складові частини програмної системи вже існують, тобто створені раніше. У цьому випадку технологічний процес створення ПЗ основну увагу приділяє інтеграції окремих компонентів в загальне ціле, а не їх створенню.

Каскадна і еволюційна модель розробки широко використовується на практиці. Модель формальної розробки систем успішно застосовувалася в багатьох проектах, але кількість організацій-розробників, що постійно використовують цей метод, невелика. Використання готових системних компонентів практикується всюди, але більшість організацій не притримуються точності моделі розробки ПЗ на основі раніше створених компонентів. Разом з тим цей метод повинен набути широкого поширення в

XXI ст., оскільки збирання систем з готових компонентів або тих, які використовувались раніше значно прискорює розробку ПЗ.

Каскадно - ієрархічна модель КСУ ТП. Це перша модель процесу створення ПЗ, породжена моделями інших інженерних процесів. Цю модель також іноді називають моделлю життєвого циклу програмного забезпечення. Основні принципові етапи (стадії) цієї моделі відображають всі базові види діяльності, необхідні для створення ПЗ. *Аналіз і формування вимог.* Шляхом консультацій із замовником ПЗ визначаються функціональні можливості, обмеження і цілі створюваної програмної системи.

1. *Проектування системи і програмного забезпечення.* Процес проектування системи розбиває системні вимоги на вимоги, що пред'являються до апаратних засобів, і вимоги до програмного забезпечення системи. Розробляється загальна архітектура системи. Проектування ПЗ припускає визначення і опис основних програмних компонентів і їх взаємозв'язків.

2. *Кодування і тестування програмних модулів.* На цій стадії архітектура ПЗ реалізується у вигляді безлічі програм або програмних модулів. Тестування кожного модуля включає перевірку його відповідності вимогам до даного модуля.

3. *Збирання і тестування системи.* Окремі програми і програмні модулі інтегруються і тестуються у вигляді цілісної системи. Перевіряється відповідність системи своїй специфікації.

4. *Експлуатація і супровід системи.* Зазвичай (хоча і не завжди) це найтриваліша фаза життєвого циклу ПЗ. Система інсталюється і починається період її експлуатації.

Супровід системи включає виправлення помилок, які не були виявлені на ранніх етапах життєвого циклу, вдосконалення системних компонентів і "підгонку" функціональних можливостей системи до нових вимог. В принципі результат кожного етапу повинен затверджуватися документально (це є сигналом закінчення етапу). Тоді наступний етап не може початися до

закінчення попереднього. Проте на практиці етапи можуть перекриватися з постійним перетіканням інформації від одного етапу до іншого. Наприклад, на етапі проектування може виникнути необхідність уточнити системні вимоги або на етапі кодування можуть виявитися проблеми, які можна вирішити лише на етапі проектування. Процес створення ПЗ не можна описати простою лінійною моделлю, оскільки він неминуче містить послідовність процесів, що повторюються.

Оскільки на кожному етапі проводяться визначені роботи і оформляється супутня документація, повторення етапів може призвести до повторних робіт і значних витрат. Тому після невеликої кількості повторень зазвичай "заморожується" частина етапів створення ПЗ, наприклад етап визначення вимог, але продовжується виконання наступних етапів. Виниклі проблеми, рішення яких вимагає повернення до "заморожених" етапів, ігноруються або робляться спроби вирішити їх програмно. "Заморожування" етапу визначення вимог може призвести до того, що розроблена система не задовольнятиме всіх вимог замовника. Це також може призвести до появи погано структурованої системи, якщо упущення етапу проектування виправляються тільки за допомогою хитрощів програмістів.

Останній етап життєвого циклу ПЗ (експлуатація і супроводження) — це "повноцінне" використання програмної системи. На цьому етапі можуть виявитися помилки, допущенні, наприклад, на першому етапі формування вимог. Можуть також виявитися помилки проектування і кодування, що може вимагати визначення нових функціональних можливостей системи. З іншого боку, система постійно повинна залишатися дієвою. Внесення необхідних змін в програмну систему потребує повторення деяких або навіть всіх етапів процесу створення ПЗ.

До недоліків каскадної моделі можна віднести негнучке розбиття процесу створення ПЗ на окремі фіксовані етапи. В цій моделі рішення, що визначають систему, приймаються на ранніх етапах, і потім їх важко відмінити або змінити, особливо це стосується формування системних вимог.

Тому каскадна модель застосовується тоді, коли вимоги формалізовані достатньо чітко і коректно. Разом з тим, каскадна модель добре ілюструє практику створення ПЗ. Технології створення ПЗ, які базуються на даній моделі, використовуються всюди, зокрема для розробки систем, що входять до складу великих інженерних проектів.

Еволюційна модель розробки компонентів КСУ ТП. Ця модель базується на такій ідеї: розробляється первинна версія програмного продукту, яка передається на випробування користувачам, потім вона допрацьовується з урахуванням думки користувачів, виходить проміжна версія продукту, яка також проходить "іспит користувачем", знову допрацьовується, і так кілька разів, поки не буде одержано необхідний програмний продукт. Відмінною рисою даної моделі є те, що процеси та специфікації, розробки та атестації ПЗ виконуються паралельно при постійному обміні інформацією між ними.

Розрізняють два підходи до реалізації еволюційного методу розробки.

1. *Підхід пробних розробок.* Тут велику роль відіграє постійна робота із замовниками (або користувачами) для того, щоб визначити повну систему вимог до ПЗ, необхідну для розробки кінцевої версії продукту. В рамках цього підходу спочатку розробляються ті частини системи, які очевидні або добре специфіковані. Система еволюціонує (добробляється) шляхом доповнення новими засобами у міру надходження пропозицій замовника.

2. *Прототипування.* Тут метою процесу еволюційної розробки ПЗ є поетапне уточнення вимог замовника і, отже, отримання закінченої специфікації, що визначає розроблювану систему. Прототип звичайно будується для експериментування з тією частиною вимог замовника, які сформовані нечітко або з внутрішніми суперечностями. Еволюційний підхід часто ефективніший, ніж підхід, побудований на основі каскадної моделі, особливо, якщо вимоги замовника можуть мінятися в процесі розробки системи. Перевагою процесу створення ПЗ, побудованого на основі еволюційного підходу, є те, що тут специфікація може розроблятися поступово, по мірі того, як замовник (або користувач) усвідомить і сформулює ті завдання, які повинно вирішувати програмне

забезпечення. Разом з тим, даний підхід має і деякі недоліки.

1. Багато етапів процесу створення ПЗ не документовані. Менеджери проекту створення ПЗ необхідно регулярно документально відстежувати виконання робіт. Але якщо система розробляється швидко, то економічно не вигідно документувати кожен версію системи.

2. Система часто буває погано структурованою. Постійні зміни вимог призводять до помилок і недолікам в структурі ПЗ. З часом внесення змін в систему стає все більш складним і витратним.

3. Часто потрібні спеціалісти засобів і технології розробки ПЗ. Це викликано необхідністю швидкої розробки версій програмного продукту. Але, з іншого боку, це може призвести до несумісності деяких використаних засобів і технологій, що, у свою чергу, вимагає наявності в команді розробників фахівців високого рівня.

На нашу думку, еволюційний підхід найбільш прийнятний для розробки невеликих програмних систем (до 100 000 рядків коду) і систем середнього розміру (до 500 000 рядків коду) з відносно коротким терміном життя. На великих системах, дуже помітні недоліки такого підходу. Для таких систем рекомендується змішаний підхід до створення ПЗ, який увібрав в себе кращі риси каскадної і еволюційної моделей розробки.

При такому змішаному підході, для виявлення "темних місць" в системній специфікації, можна використовувати прототипування. Частина системних компонентів, для яких вимоги визначені повністю, може створюватися на основі каскадної моделі. Інші системні компоненти, які важко піддаються специфікуванню, наприклад інтерфейс для користувача може розроблятися з використанням прототипування.

Формальна розробка компонент КСУ ТП. Цей підхід до створення ПЗ має багато рис, схожих до каскадної моделі, але його створено на основі формальних математичних перетворень системної специфікації у програму, що виконується.

Між даним підходом і каскадною моделлю існують такі кардинальні відмінності:

1) В даному випадку специфікація системних вимог має вигляд деталізованої формальної специфікації, записаної за допомогою спеціальної математичної нотації.

2) Процеси проектування, написання програмного коду і тестування системних модулів замінюються процесом, в якому формальна специфікація шляхом послідовних формальних перетворень трансформується у програму, що виконується.

В процесі перетворення формальне математичне представлення системи послідовно і математично коректно трансформується в програмний код, який поступово стає більш деталізованим. Ці перетворення виконуються до тих пір, поки всі позиції формальної специфікації не будуть трансформовані в еквівалентну програму. Перетворення виконуються математично коректно — тут не існує проблеми перевірки відповідності специфікації і програми.

Перевага методу формальних перетворень, яка полягає в точній відповідності кінцевої програми специфікації, забезпечується тим, що дистанція між послідовними перетвореннями є значно меншою, ніж дистанція між специфікацією і програмою. Доказ коректності програмного коду для великих систем, що масштабуються звичайно дуже тривалий, а часто його просто неможливо виконати. У цьому відношенні метод формальних перетворень, що складається з послідовності невеликих формальних кроків, досить привабливий. Проте зробити вибір для застосування відповідних формальних перетворень важко. Найбільш відомим прикладом методу формальних перетворень є метод чистої кімнати, розроблений компанією IBM. Цей метод припускає покрокову розробку ПЗ, коли на кожному кроці застосовуються формальні перетворення. Це дозволяє відмовитися від тестування окремих програмних модулів, а тестування всієї системи відбувається після її збирання.

Метод "чистої кімнати, як і інші методи формальних перетворень, базуються на В-методі. Всі ці методи мають кілька "вроджених" недоліків, а вартість розробки ПЗ за допомогою цих методів не набагато відрізняється від вартості розробок іншими методами. Методи формальних перетворень зазвичай застосовують для розробки систем, які повинні відповідати вимогам надійності, безвідмовності і безпеки, оскільки вони гарантують відповідність створюваних систем їх специфікаціям.

Крім розробки систем вказаного типу, методи формальних перетворень не знайшли широкого застосування, оскільки вимагають спеціальних знань і досвіду використання. Крім того, у більшості систем ці методи не дають істотного виграшу у вартості або якості в порівнянні з іншими методами розробки ПЗ. Основна причина полягає в тому, що функціонування більшості систем важко піддається опису методом формальних специфікацій — при створенні більшості програмних систем більша частина праці розробників витрачається саме на створення специфікацій.

Розробка програмного забезпечення з використанням створених компонентів КСУ ТП. В більшості програмних проєктів застосовується повторне використання деяких програмних модулів це звичайно трапляється там, де розробники проєкту знають про раніше створені програмні продукти, у складі яких є компоненти, які приблизно відповідають вимогам компонентів, що розробляються. Ці компоненти модифікуються відповідно до нових вимог і потім включаються до складу нової системи. У еволюційній моделі розробки, для прискорення процесу створення ПЗ, повторне використання раніше створених компонентів відбувається достатньо часто.

Неформальне рішення про повторне використання раніше створених програмних компонентів зазвичай ухвалюється незалежно від загального процесу створення ПЗ. Разом з тим, протягом декількох останніх років все ширше застосовується підхід до створення ПЗ, який базується саме на повторному використанні раніше створених програмних модулів.

Цей підхід базується на наявності великої бази програмних компонентів, які можна інтегрувати у створювану нову систему. Часто такими компонентами є програмні продукти, що вільно продаються на ринку, які можна використовувати для виконання визначених спеціальних функцій, таких як форматування тексту, числові обрахунки, і т.п. Загальна модель процесу розробки ПЗ є повторним використанням раніше створених компонентів.

При цьому підході початковий етап специфікації вимог і етап атестації такі ж, як і в інших моделях процесу створення ПЗ. А етапи, розташовані між ними, мають такий зміст:

1. Аналіз компонентів. Маючи специфікацію вимог, на цьому етапі можливо здійснити пошук компонентів, які могли б задовольнити сформульовані вимоги. Зазвичай неможливо точно зіставити функції, які реалізують готові компоненти, і функції, визначені специфікацією вимог.

2. Модифікація вимог. На цій стадії аналізуються вимоги з урахуванням інформації про компоненти, одержаної на попередньому етапі. Вимоги модифікуються таким чином, щоб максимально використовувати можливості відібраних компонентів. Якщо зміна вимог неможлива, повторно виконується аналіз компонентів для того, щоб знайти якесь альтернативне рішення.

3. Проектування системи. На даному етапі проектується структура системи або модифікується наявна структура системи, що повторно використовується. Проектування повинно враховувати відібрані програмні компоненти і будувати структуру відповідно до їх функціональних можливостей. Якщо якісь готові програмні компоненти недоступні, проектується нове ПЗ.

4. Розробка і збирання системи. Це етап безпосереднього створення системи. В рамках розглянутого підходу збирання системи є швидше частиною розробки системи, ніж окремим етапом. Основні переваги описаної моделі процесу розробки ПЗ з повторним використанням раніше створених компонентів полягає у тому, що скорочується кількість розроблюваних компонентів і

зменшується загальна вартість створюваної системи. Разом з тим, при використанні цього підходу неминучі компроміси при визначенні вимог; це може призвести до того, що закінчена система не задовольнятиме всіх вимог замовника. Крім того, при проведенні модернізації системи (тобто при створенні її нової версії) відсутня можливість впливати на появу нових версій компонентів, що використовуються в системі, що значно ускладнює сам процес модернізації.

Описані моделі процесу створення ПЗ мають свої переваги і недоліки. При створенні великих систем, як правило, доводиться використовувати різні підходи до розробки різних частин системи, тобто в цілому до розробки системи застосовуються гібридні (змішані) моделі. Тому важливу роль відіграє можливість виконувати окремі процеси розробки підсистем і весь процес створення ПЗ інтеграційно, коли у відповідь на зміни вимог повторно виконуються визначені етапи створення системи (частіше за все етапи проектування і кодування). У цьому розділі представлені дві гібридні інтеграційні моделі, які поєднують кілька різних підходів до розробки ПЗ і розроблені спеціально для підтримки інтеграційного способу створення ПЗ.

1. Модель покрокової розробки. В каскадній моделі створення ПЗ визначення вимог здійснюється спільно з замовником до початку проектування системи. Системна архітектура також повинна бути створена до початку реалізації (кодування) системи. Зміни у вимогах, зроблені на етапі написання коду, ведуть до необхідності виконання повторних робіт по проектуванню і кодуванню системи. Разом з тим, до переваг каскадної моделі можна віднести простоту управління процесом створення ПЗ (в рамках моделі), а також наявність окремих етапів проектування і реалізації, що призводить до створення цілком роботоспроможних систем, в яких враховані всі зміни в специфікації, зроблені вже під час самого процесу розробки ПЗ. На відміну від каскадної, в еволюційній моделі можна відкласти ухвалення кінцевих рішень про специфікації і структури системи, проте це може

призвести до створення погано структурованої системи, яку буде важко супроводжувати.

Модель покрокової розробки знаходиться десь між цими моделями і об'єднує їх переваги. Ця модель була запропонована Міллсом, як шанс зменшити кількість повторно виконаних робіт в процесі створення ПЗ і збільшити для замовника часовий період кінцевого ухвалення рішення про всі деталі системних вимог. В процесі покрокової розробки замовник спочатку у загальних рисах визначає ті сервіси (функціональні можливості), якими повинна володіти створювана система. При цьому встановлюються пріоритети, тобто визначається, які сервіси більше важливі, а які — менше. Також визначається кількість кроків розробки, причому на кожному кроці має бути одержано системний компонент, що реалізує визначену підмножину системних функцій. Розподіл реалізації системних сервісів по кроках розробки залежить від їх пріоритетів. Сервіси з більш високими пріоритетами реалізуються першими.

Послідовність кроків розробки визначається наперед до початку їх виконання. На перших кроках деталізують вимоги для сервісів, потім для їх реалізації (на подальших кроках) використовується один з відповідних способів розробки ПЗ. В ході їх реалізації аналізуються і деталізуються вимоги для компонентів, які будуть розроблятися на подальших кроках, причому зміна вимог для тих компонентів, які вже знаходяться в процесі розробки, не допускається.

Після завершення кроку розробки одержуємо програмний компонент, який передається замовнику для інтеграції в підсистему, що реалізує визначений системний сервіс. Замовник може експериментувати з готовими підсистемами і компонентами для того, щоб уточнити вимоги, що пред'являються до наступних версій вже готових компонентів або до компонентів, які розробляються на подальших кроках. По завершенні чергового кроку розробки отриманий компонент інтегрується з раніше виробленими компонентами; таким чином, після кожного кроку розробки

система буде отримувати все більшу функціональну завершеність. Загальносистемні функції в цьому процесі можуть реалізовуватися відразу або поступово, у міру розробки необхідних компонентів.

В описаній моделі не припускається, щоб на кожному кроці використовувався один і той же підхід до процесу розробки компонентів. Якщо створюваний компонент має добре розроблену специфікацію, то для його створення можна застосувати каскадну модель. Якщо ж вимоги визначені нечітко, можна використовувати еволюційну модель розробки.

Процес покрокової розробки має цілий ряд переваг:

- Замовнику немає необхідності чекати повного завершення розробки системи, щоб одержати про неї уявлення. Компоненти, отримані на перших кроках розробки, відповідають найкритичнішим вимогам (оскільки мають найбільший пріоритет), і їх можна оцінити на найпершій стадії створення системи.
- Замовник може використовувати компоненти, отримані на перших кроках розробки, як прототипи і провести з ними експерименти для уточнення вимог до тих компонентів, які будуть розроблятися пізніше.
- Даний підхід зменшує ризик загальносистемних помилок. Хоча в розробці окремих компонентів можливі помилки, ці компоненти повинні пройти відповідне тестування і атестацію перш ніж їх передадуть замовнику.
- Оскільки системні сервіси з високим пріоритетом розробляються першими, а всі подальші компоненти інтегруються з ними, неминуче виходить, що найбільш важливі підсистеми піддаються ретельнішому всебічному тестуванню і перевірці. Це значно знижує вірогідність програмних помилок в особливо важливих частинах системи.

Разом з тим, при реалізації покрокової розробки можуть виникнути певні проблеми. Компоненти, отримані на кожному кроці розробки, мають відносно невеликий розмір (зазвичай не більш 20 000 рядків коду), але повинні реалізувати якусь системну функцію. Відобразити безліч системних вимог до компонентів потрібного розміру досить складно. Більш того, багато

систем повинні мати набір базових системних властивостей, які реалізуються спільно різними частинами системи. Оскільки вимоги детально не визначаються до тих пір, поки не будуть розроблені всі компоненти, буває вельми важко розподілити загальносистемні функції по компонентах.

2. Спірально-покрокова модель розробки програмного забезпечення КСУ ТП. Спіральна модель процесу створення програмного забезпечення була вперше запропонована в статті [5] і в даний час набула широкої популярності. На відміну від розглянутих раніше моделей, де процес створення ПЗ представлений у вигляді послідовності окремих процесів з можливим зворотнім зв'язком між ними, тут процес розробки представлений у вигляді спіралі. Кожний виток спіралі відповідає одній стадії (ітерації) процесу створення ПЗ. Так, найбільш внутрішній виток спіралі відповідає стадії ухвалення рішення про створення ПЗ, на наступному витку визначаються системні вимоги, далі слідує стадія (виток спіралі) проектування системи.

Кожний виток спіралі розбито на чотири сектори:

- *Визначення цілі.* Визначаються цілі кожної ітерації проекту. Крім того, встановлюються обмеження на процес створення ПЗ і на сам програмний продукт, уточнюються плани виробництва компонентів. Визначаються проектні ризики (наприклад, ризик збільшення строків або ризик збільшення вартості проекту). Залежно від "виявлених" ризиків, можуть плануватися альтернативні стратегії розробки ПЗ.

- *Оцінка і дозвіл ризиків.* Для кожного певного проектного ризику проводиться його детальний аналіз. Плануються заходи для зменшення ризиків. Наприклад, якщо існує ризик, що системні вимоги визначені невірно, планується розробити прототип системи.

- *Розробка і тестування.* Після оцінки ризиків вибирається модель процесу створення системи. Наприклад, якщо домінують ризики, пов'язані з розробкою інтерфейсів, найбільш відповідною буде еволюційна модель розробки ПЗ з прототипуванням. Якщо основні ризики пов'язані з

відповідністю системи і специфікації, швидше за все, слід застосувати модель формальних перетворень. Каскадна модель може бути застосована в тому випадку, якщо основні ризики визначені як помилки, що можуть виявитися на етапі складання системи.

–. *Планування.* Тут переглядається проект і приймається рішення про те, чи починати наступний виток спіралі. Якщо приймається рішення про продовження проекту, розробляється план на наступну стадію проекту.

Істотна відмінність спіральної моделі від інших моделей процесу створення ПЗ полягає в точному визначенні і оцінюванні ризиків. Якщо говорити неформально, то ризик - це ті неприємності, які можуть трапитися в процесі розробки системи. Наприклад, якщо при написанні програмного коду використовується нова мова програмування, то ризик може полягати у тому, що компілятор цієї мови може бути ненадійним, або, що результуючий код може бути недостатньо ефективним. Ризики можуть також полягати в перевищенні термінів або вартості проекту. Таким чином, зменшення (дозвіл) ризиків — важливий елемент управління системним проектом.

В цьому розділі, а також в трьох наступних, розглядаються основні базові процеси створення ПЗ: формування специфікації, розробка, атестація і модернізація програмних систем. Перший із цих процесів, формування специфікації, призначений для визначення сервісів, якими володітиме спроектоване ПЗ, а також обмежень, які накладаються на функціональні можливості і розробку програмних систем. Цей процес тепер зазвичай називають "розробка вимог". Розробка вимог часто є критичним етапом в створенні ПЗ, оскільки помилки, допущені на цьому етапі, ведуть до виникнення проблем на етапах проектування і розробки.

Результатом його виконання є розробка документації, що формалізує вимоги, які пред'являються до системи, тобто створення системної специфікації. У цій документації вимоги звичайно представлені на двох рівнях деталізації. На найвищому рівні представлені вимоги, визначені

кінцевими користувачами або замовниками ПЗ; але для розробників необхідна більш деталізована системна специфікація.

Процес розробки вимог включає чотири основних етапи:

- *Попередні дослідження.* Оцінюється ступінь задоволеності користувачів наявними програмними продуктами і апаратними засобами, а також економічна ефективність майбутньої системи і можливість укластися в існуючі бюджетні обмеження при її розробці. Цей етап повинен бути по можливості коротким і дешевшим.
- *Формування і аналіз вимог.* Формуються системні вимоги шляхом вивчення існуючих аналогічних систем, обговорення майбутньої системи з потенційними користувачами і замовниками, аналізу задач, які повинна вирішувати система і т.п. Цей етап може включати розробку декількох моделей системи і її прототипів, що допомагає сформувати функціональні вимоги до системи.
- *Специфікування вимог.* Здійснюється переклад всієї сукупності інформації, зібраної на попередньому етапі, в документ, що визначає безліч вимог. Цей документ звичайно містить два типи вимог призначені для користувача: узагальнені – представлення про систему замовникам і кінцевим користувачам; системні — детальний опис функціональних показників системи.
- *Затвердження вимог.* Перевіряється виконання, узгодженість і повнота безлічі вимог. В процесі формування обмежень неминуче виникнення якихось помилок. На цьому етапі вони повинні бути по можливості виявлені і усунені.

1.2. Проектування і реалізація програмного забезпечення

Реалізація програмного забезпечення — це процес перекладу системної специфікації в дієву систему. Етап реалізації завжди включає процеси проектування і програмування, але якщо для розробки ПЗ використовується еволюційний підхід, етап реалізації також може включати процес внесення змін в системну специфікацію.

На етапі проектування ПЗ визначається його структура, дані, які є частиною системи, інтерфейси взаємодії системних компонентів і, іноді, використані алгоритми. Проектувальники відразу ніколи не одержують закінченого результату — процес проектування зазвичай проходить через розробку декількох проміжних версій ПЗ. Проектування пропонує послідовну формалізацію і деталізацію створюваного ПЗ з можливістю внесення змін у рішення, прийняті на більш ранніх стадіях проектування.

Процес проектування може включати розробку декількох моделей системи різних рівнів узагальнення. Оскільки проектування — це процес декомпозиції, такі моделі допомагають виявити помилки, допущені на ранніх стадіях проектування, а отже, дозволяють внести зміни в раніше створені моделі.

Результатом кожного етапу проектування є специфікація, необхідна для виконання наступного етапу. Ця специфікація може бути абстрактною і формальною, такою, яка необхідна для деталізації системних вимог; але вона може бути і частиною розроблюваної системи. Оскільки процес проектування безперервний, специфікації поступово стають все більш деталізованими. Кінцевим результатом процесу проектування є точні специфікації на алгоритми і структури даних, які будуть реалізовані на наступному етапі створення ПЗ.

Нижче перераховано окремі етапи процесу проектування:

1. *Архітектурне проектування.* Визначаються і документуються підсистеми і взаємозв'язки між ними.

2. *Узагальнена специфікація.* Для кожної підсистеми розробляється узагальнена специфікація на її сервіси і обмеження.

3. *Проектування інтерфейсів.* Для кожної підсистеми визначається і документується її інтерфейс. Специфікації на ці інтерфейси повинні бути точно вираженими і однозначними, щоб використання підсистем не вимагало знань про те, як вони реалізують свої функції.

4. *Компонентне проектування.* Проводиться розподіл системних функцій (сервісів) по різних компонентах і їхніх інтерфейсах.

5. *Проектування структур даних.* Детально розробляються структури даних, необхідні для реалізації програмної системи.

6. *Проектування алгоритмів.* Детально розробляються алгоритми, які призначені для реалізації системних сервісів.

Описана схема процесу проектування є достатньо загальною, і на практиці може (і повинна) адаптуватися до розробки конкретного програмного продукту. Наприклад, два останніх етапи проектування структур даних і алгоритмів можуть бути як складовими частинами процесу проектування, так і входити в процес реалізації ПЗ. Якщо для створення програмної системи використовуються деякі вже готові компоненти, це накладає обмеження на архітектуру системи і інтерфейси системних модулів. Це означає, що кількість компонентів, що потребують проектування, значно зменшиться. Якщо в процесі проектування використовується метод проб і помилок, то системні інтерфейси можуть розроблятися після визначення структур даних.

Методи проектування КСУ ТП. У багатьох проектах розробки ПЗ процес проектування виконується за допомогою спеціально *підібраних методів*. Відштовхуючись від безлічі вимог звичайно записаних істиною мовою, спочатку виконується неформальне проектування. Коментарі до програмного коду і проміжні специфікації можуть змінюватися в процесі реалізації системи. Після завершення стадії реалізації (тобто програмування і налагодження системи) в проектну документацію також вносяться зміни, покликані усунути помилки і неповноту опису системи в первинній специфікації.

Найбільш розробленим підходом до проектування ПЗ володіють так звані структурні методи, які пропонують безліч формалізованих нотацій і нормативних керівництв для проектування програмних продуктів. Як приклад цих методів можна назвати структурне проектування, структурний

аналіз систем розробку систем Джексона, а також різноманітні методи, які базуються на об'єктноорієнтованому підході.

Застосування структурних методів звичайно призводить до створення графічних моделей системи і великого обсягу проектної документації. CASE-засоби призначені для підтримки саме таких методів. Структурні методи успішно використовувались в багатьох програмних проектах. Вони значно знижують вартість розробки, оскільки використовують стандартні нотації для отримання стандартної проектної документації. Ні про один із цих методів не можна сказати, що він кращий або гірший за інші. Успішне або неуспішне застосування того чи іншого методу часто залежить від типу розроблюваного ПЗ.

Кожен структурний метод включає такі компоненти, як модель процесу проектування, стандартизовані нотації для представлення структури системи, формати звітів, правила і нормативні вказівки відносно проектування. Хоча розроблено велику кількість таких методів, вони мають дещо спільне. Структурні методи підтримують всі або, принаймні, деякі із перерахованих нижче моделей систем.

1. Модель потоків даних, де система моделюється у вигляді потоку даних, які перетворюються у цій системі.

2. Модель "суть-зв'язок", яка використовується для опису суті (об'єктів програмної системи) і зв'язків між ними. Ця модель часто використовується при проектуванні структур баз даних.

3. Структурна модель, призначена для документування системних компонентів і їх взаємозв'язків.

4. Об'єктно-орієнтовані методи, за допомогою яких одержують ієрархічну модель системи, моделі статичних і динамічних відносин між об'єктами і модель взаємодії об'єктів під час роботи системи.

Деякі структурні методи доповнюються іншими системними моделями. Багато методів припускає наявність централізованих сховищ (репозиторіїв) для системної інформації або словників даних, що використовуються.

На практиці методи представляють нормативні керівництва неформально, так що різні проєктувальники можуть реалізувати різні шляхи проєктування. Фактично ці методи є набором стандартних нотацій і просто відображають успішну практику проєктування. Згідно цих методів і їх нормативних керівництв, можна прийти до раціонального і розумного процесу проєктування. Разом з тим, творчість проєктувальників повинна виявитися в способі декомпозиції системи, який адекватно відображає системні вимоги. З іншого боку, проведені дослідження роботи проєктувальників показали, що найчастіше вони просто наслідують ці методи. Та й самі методи вони вибирають залежно від певних обставин, а не у відповідності до їх переваг або недоліків.

Атестація ПЗ, або більш узагальнено — верифікація і атестація, покликана показати відповідність системи її специфікації, а також очікуванням і вимогам замовника і користувачів. До процесу атестації також можна віднести елементи контролю, такі як інспекція і оцінювання, які виконуються на кожному етапі створення ПЗ — від формування загальних вимог до кодування програм. Але все ж таки основні дії по атестації виконуються після закінчення реалізації на етапі тестування закінченої системи. За винятком невеликих програм, програмні системи неможливо протестувати як єдиний цілий програмний елемент. Великі системи будуються на основі підсистем, які, у свою чергу, будуються з модулів, модулі ж компонуються з програм-процедур і програм-функцій. Для таких систем процес тестування виконується поступово, у міру реалізації системи. Процес тестування складається з декількох етапів.

1.Тестування компонентів. Тестуються окремі компоненти для перевірки правильності їх функціонування. Кожен компонент тестується незалежно від інших.

2.Тестування модулів. Програмний модуль — це сукупність залежних компонентів, таких як опис класу об'єктів, декларування абстрактних типів

даних і набір процедур і функцій. Кожен модуль тестування не залежить від інших системних модулів.

3.Тестування підсистем. Тестуються набори модулів, які складають окремі підсистеми. Основна проблема, яка часто виявляється на цьому етапі, — неузгодженість модульних інтерфейсів. Тому при тестуванні підсистем основна увага приділяється виявленню помилок в модульних інтерфейсах шляхом прогону їх через всі можливі режими.

4.Тестування системи. З підсистем збирається кінцева система. На цьому етапі основна увага приділяється сумісності інтерфейсів підсистем і виявленню програмних помилок, які виявляються у вигляді непередбаченої взаємодії між підсистемами. Тут також проводиться атестація системи, тобто перевіряється відповідність системної специфікації та її функціональних і нефункціональних показників, а також оцінюються інтеграційні характеристики системи.

5. Приймальні випробування. Це кінцевий етап процесу тестування, після якого система приймається до експлуатації. Тут система тестується з залученням даних, які пропонуються замовником системи, а не на основі тестових даних, як було на попередньому етапі. На цьому етапі можуть виявитися помилки, допущені ще на етапі визначення системних вимог, оскільки випробування з реальними даними можуть дати інший результат, ніж тестування із спеціально підібраними тестовими даними. Приймальні випробування можуть також виявити інші проблеми в системних вимогах, якщо реальні системні характеристики не відповідають потребам замовника, або система функціонує непередбаченим чином.

Тестування програмних компонентів і модулів звичайно виконується тим програмістом, який їх розробляв. Програмісти мають свої набори тестових даних і тестують програмний код поступово, у міру його створення. Такий підхід до тестування окремих компонентів і модулів цілком виправданий, оскільки краще за програміста, що розробив програмний компонент, його не знає ніхто, і тому він може підібрати найкращі тестові

дані. Тестування програмних елементів можна розглядати як частину процесу їх створення, тому ми має право чекати точної відповідності цих елементів і їх специфікації.

Останні етапи тестування виконуються в процесі збирання системи, для чого потрібно декілька програмістів. Тому ці роботи мають бути сплановані наперед. Якщо тестування виконує незалежна команда дослідників, плани проведення тестування повинні бути узгоджені із етапами розробки специфікації і проектування. Приймальні випробування іноді називають *альфа-тестуванням*. Зроблені на замовлення системи призначені для одного замовника. Для таких систем процес альфа-тестування триває до тих пір, поки розробники і замовник не будуть упевненні у тому, що розроблена система повністю відповідає системним вимогам.

Якщо система розробляється для продажу на ринку програмних продуктів, використовується так зване *бета-тестування*. Для бета-тестування система розсилається великій кількості потенціальних користувачів і замовників. Вони відсилають розробникам звіти про виявлені проблеми під час експлуатації системи. Бета-тестування дозволяє перевірити систему в реальних умовах експлуатації і знайти помилки, пропущені розробниками. Після отримання звітів про випробування система модернізується і знову передається на бета-тестування або відразу поступає в продаж.

1.3. Управління ризиками впровадження та експлуатації інтегрованих комп'ютерних систем управління технологічними процесами

Неможливо описати і стандартизувати всі роботи, які виконує менеджер проекту по створенню ПЗ. Ці роботи досить істотно залежать від організації, де виконується розробка ПЗ, і від типу створюваного програмного продукту. Але у будь-якому випадку більшість менеджерів

відповідають за виконання всіх, або деяких з приведених нижче процесів управління: написання пропозицій по створенню ПЗ, планування і складання графіка робіт із створення ПЗ, оцінювання вартості проекту, контроль за ходом виконання робіт, підбір розробників, написання звітів і представлень.

Перша стадія програмного проекту може складатися з написання пропозицій з реалізації цього проекту. Пропозиції повинні містити опис цілей проектів і способів їх досягнення. Вони також зазвичай включають оцінки фінансових і часових витрат на виконання проекту. При необхідності тут можуть приводитися обґрунтування для передачі проекту на виконання іншій організації або команді розробників. Написання пропозицій — дуже відповідальна робота, оскільки для багатьох організацій питання про те, чи буде проект виконуватися самою організацією чи розроблятися за контрактом іншою компанією, є критичним. Неможливо давати якісь рекомендації щодо написання пропозицій, багато в чому це залежить від досвіду менеджера.

На етапі планування проекту визначаються процеси, етапи і отримані на кожному з них результати, які в кінцевому результаті повинні призвести до виконання проекту. Результатом реалізації цього плану стане досягнення цілей проекту. Визначення вартості проекту напряму пов'язане з його плануванням, оскільки тут оцінюються ресурси, які потрібні для виконання плану. Контроль за ходом виконання робіт (моніторинг проекту) — це безперервний процес, який продовжується протягом всього терміну реалізації проекту. Менеджер повинен відстежувати хід реалізації проекту і порівнювати фактичні і планові показники виконання робіт з їх вартістю. Хоча багато організацій мають механізми формального моніторингу робіт, досвідчений менеджер може скласти ясну картину про стадію розвитку проекту просто шляхом неформального спілкування з розробниками.

Неформальний моніторинг часто допомагає знайти потенціальні проблеми, які можуть виявитися пізніше. Наприклад, щоденне обговорення ходу виконання робіт може виявити окремі недоліки в створюваному

програмному продукті. Замість очікування звітів, в яких буде відображено факт "пробуксовки" графіку робіт, менеджер може обговорити з фахівцями проблеми програмістів і не допустити зриву графіка робіт.

Протягом реалізації проекту звичайно відбувається декілька формальних контрольних перевірок ходу виконання робіт із створення ПЗ. Такі перевірки повинні дати загальну картину ходу реалізації проекту в цілому і показати, наскільки вже розроблена частина ПЗ відповідає цілям проекту.

Час виконання великих програмних проектів може займати кілька років. Протягом цього часу цілі і наміри організації, які замовили програмний проект, можуть змінитися. Може виявитися, що розроблюваний програмний продукт став вже непотрібним, або вихідні вимоги до створюваного ПЗ просто застаріли і їх необхідно кардинально змінити. У такій ситуації керівництво організації-розробника може прийняти рішення про припинення розробки ПЗ або про зміну проекту в цілому з тим, щоб врахувати змінені цілі і наміри організації - замовника.

Керівники — менеджери проектів звичайно повинні самі підбирати виконавців для своїх проектів. В ідеальному випадку професійний рівень виконавців повинен відповідати тій роботі, яку вони будуть виконувати в ході реалізації проекту. Проте у багатьох випадках менеджерам доводиться працювати з командою розробників, яка не є ідеальною. Така ситуація може бути викликана наступними причинами.

1. Бюджет проекту не дозволяє залучити висококваліфікований персонал. У такому випадку за меншу платню залучаються менш кваліфіковані спеціалісти.

2. Бувають ситуації, коли неможливо знайти фахівців необхідної кваліфікації як в самій організації-розробників, так і поза нею. Наприклад, в організації кращі спеціалісти можуть бути вже зайняті в інших проектах.

3. Організація хоче підвищити професіональний рівень своїх працівників. В цьому разі вона може залучити до участі в проекті

недосвідчених або недосить кваліфікованих працівників, щоб вони придбали необхідний досвід у більш досвідчених фахівців.

Таким чином, майже завжди підбір фахівців для виконання проекту має певні обмеження. Разом з тим, необхідно, щоб хоча б декілька членів групи розробників мали кваліфікацію і досвід, достатній для роботи над даним проектом. Інакше неможливо уникнути помилок в розробці ПЗ. Менеджер проекту звичайно зобов'язаний надсилати звіти про хід його виконання як замовнику, так і організаціям. Це повинні бути стислі документи, які базуються на інформації, взятій з докладних звітів про проект. Ці звіти повинні містити інформацію, яка дозволяє чітко оцінити ступінь готовності створюваного програмного продукту.

Ефективне управління програмним проектом напряму залежить від правильного планування робіт, необхідних для його виконання. План допомагає менеджеру передбачити проблеми, які можуть виникнути на будь-яких етапах створення ПЗ, і розробити заходи для їх попередження або розв'язання. План, розроблений на початковому етапі проекту, розглядається всіма його учасниками як керівний документ, виконання якого повинно призвести до успішного завершення проекту. Цей початковий план повинен максимально детально описати всі етапи реалізації проекту. Окрім розробки плану проекту, на менеджера лягає обов'язок розробки інших видів планів.

Види планів мають такий алгоритм.

У лістингу 1 показаний процес планування створення ПЗ у вигляді псевдокоду. Тут зроблено акцент на тому, що планування— це ітеграційний процес. Оскільки в процесі виконання проекту постійно з'являється нова інформація, план повинен регулярно переглядатися. Важливими чинниками, які потрібно враховувати при розробці плану, є фінансові і ділові зобов'язання організації. Якщо вони змінюються, ці зміни також повинні знайти відображення в плані робіт.

Лістинг 1. Процес планування проекту: визначення проектних обмежень, початкова оцінка параметрів проекту, визначення етапів

виконання проекту і контрольних відміток, while поки проект не закінчиться або не буде зупинений loop, складання графіка робіт, початок виконання робіт, очікування закінчення чергового етапу робіт, відслідковування ходу виконання робіт, перегляд оцінок параметрів проекту, зміна графіка робіт, перегляд проектних обмежень, If (виникла проблема) **then**, перегляд технічних або організаційних параметрів проекту, end if, end loop.

Процес планування починається з визначення проектних обмежень (тимчасові обмеження, можливості наявного персоналу, бюджетні обмеження тощо). Ці обмеження повинні визначатися паралельно з оцінюванням проектних параметрів, таких як структура і розмір проекту, а також розподілом функцій серед виконавців. Потім визначаються етапи розробки і те, які результати (документація, прототипи, підсистеми або версії програмного продукту) мають бути отримані після закінчення цих етапів. Далі починається циклічна частина планування. Спочатку розробляється графік робіт по виконанню проекту або дається дозвіл на продовження використання раніше створеного графіка. Після цього (звичайно через 2-3 тижні), проводиться контроль виконання робіт і відмічаються розбіжності між реальним і плановим ходом робіт.

Далі, у міру надходження нової інформації про хід виконання проекту, можливий перегляд початкових оцінок параметрів проекту. Це, у свою чергу, може призвести до зміни графіка робіт. Якщо в результаті цих змін порушуються строки закінчення проекту, повинні бути переглянуті (і обговоренні із замовником ПЗ) проектні обмеження.

Звичайно, більшість менеджерів проектів розуміє, що реалізація їх проектів не пройде гладко, без жодних проблем. Бажано описати можливі проблеми ще до того, як вони виявлять себе в ході виконання проекту. Тому краще складати «песимістичні» графіки робіт, ніж "оптимістичні". Але, звичайно, неможливо при побудові плану, врахувати все, зокрема випадкові проблеми і затримки виконання проекту, тому і виникає необхідність

періодичного перегляду проектних обмежень і етапів створення програмного продукту.

План проекту повинен чітко показати ресурси, необхідні для реалізації проекту, розділення робіт на етапи і часовий графік виконання цих етапів. У деяких організаціях план проекту складається як єдиний документ, що містить всі види планів, описані вище. У інших випадках план проекту описує тільки технологічний – процес створення ПЗ. У такому плані обов'язково є посилання на плани інших видів, але вони розробляються окремо від плану проекту.

План, структура якого представлена нижче, належить до останнього типу планів. Деталізація планів проектів дуже різниться залежно від типу розроблюваного програмного продукту і організації-розробника. Але у будь-якому випадку більшість планів містить наступний розділ.

- *Вступ*, де проводиться короткий опис цілей проекту і проектних обмежень (бюджетних, тимчасових).
- *Організація виконання проекту*, де описується спосіб підбору команди розробників і розподіл обов'язків між членами команди.
- *Аналіз ризиків*, де описуються можливі проектні ризики, вірогідність їх виявлення і стратегій, направлених на їх зменшення.
- *Апаратні і програмні ресурси, необхідні для реалізації проекту*, де перелічуються апаратні засоби і програмне забезпечення, необхідне для розробки програмного продукту. Якщо апаратні засоби необхідно закуповувати, приводиться їх вартість спільно з графіком закупівлі і поставки.
- *Розбиття робіт на етапи*. Процес реалізації проекту розбивається на окремі процеси, визначаються етапи виконання проекту, приводиться опис результатів ("виходів") кожного етапу і контрольні відмітки.
- *Графік робіт*. У цьому графіку відображається залежність між окремими процесами (етапами) розробки ПЗ, оцінки часу їх виконання і розподіл членів команди розробників за окремим етапам.

- *Механізми моніторингу і контролю за ходом виконання проекту.*

Опис представленого менеджером звіту про хід виконання робіт, строки їх представлення, а також механізми моніторингу всього проекту.

Контрольні відмітки етапів робіт. Менеджеру для організації і управління процесом створення ПЗ необхідна інформація. Ця управлінська інформація надходить у вигляді документів, що відображають виконання чергового етапу розробки програмного продукту. Без цієї інформації не можна оцінити ступінь готовності створюваного продукту та витрати або змінити графік робіт.

При плануванні процесу визначаються *контрольні відмітки*— віхи, що позначають кінець певного етапу робіт. Для кожної контрольної відмітки створюється звіт, який надається керівництву проекту. Ці звіти не повинні бути об'ємними документами; вони лише повинні підводити короткі підсумки закінчення окремого логічно завершеного етапу проекту. Етапом не може бути, наприклад, "Написання 80% коду програм", оскільки неможливо перевірити закінчення такого етапу; крім того, подібна інформація не допомагає управлінню, оскільки в ній не відображається зв'язок цього "етапу" з іншими етапами створення ПЗ. Звичайно по завершенні основних великих етапів, таких як розробка специфікації, проектування і т.п., замовнику ПЗ пропонуються результати їх виконання, так названі *контрольні проектні елементи*. Це може бути документація, прототип програмного продукту, закінченні підсистеми ПЗ і т.д. Контрольні проектні елементи, представлені замовнику ПЗ, можуть співпадати з контрольними відмітками (точніше, з результатами виконання якогось етапу), але не навпаки. Контрольні відмітки — це внутрішні проектні результати, які використовуються для контролю за ходом виконання проекту, і вони, як правило, не пропонуються замовнику ПЗ.

Для визначення контрольних відміток весь процес створення ПЗ повинен бути розбитий на окремі етапи з вказаним "виходом" (результатом) кожного етапу.

Графік виконання робіт КСУ ТП

Складання графіка — один з найвідповідальніших етапів, який здійснює менеджер проекту. Він оцінює тривалість проекту, визначає ресурси, необхідні для реалізації окремих етапів робіт, і представляє їх (етапи) у вигляді узгодженої послідовності. Якщо даний проект подібний до раніше реалізованого, то графік робіт останнього проекту можна взяти за основу для даного проекту. Однак потім слід врахувати, що на окремих етапах нового проекту можуть використовуватися методи і підходи, що відрізняються від використаних раніше.

Якщо проект є інноваційним, початкові оцінки тривалості і необхідних ресурсів напевно будуть дуже оптимістичними, навіть якщо менеджер спробує передбачити всі можливі несподіванки. З цієї точки зору проекти створення ПЗ не відрізняються від великих інноваційних технічних проектів. Нові аеропорти, мости а також нові автомобілі, як правило, з'являються пізніше спочатку заявлених термінів їх здачі або надходження на ринок, причиною чого є несподівано виниклі проблеми і труднощі. Саме тому графіки робіт необхідно постійно оновлювати в міру надходження нової інформації про хід виконання проекту.

В процесі складання графіка весь масив робіт, необхідних для реалізації проекту, розбивається на окремі етапи і оцінюється час, потрібний для виконання кожного етапу. Звичайно багато етапів виконуються паралельно. Графік робіт повинен передбачати це і розподіляти виробничі ресурси між ними найбільш оптимальним чином. Брак ресурсів для виконання якогось критичного етапу — часта причина затримки виконання всього проекту.

Тривалість етапів звичайно повинна бути не меншою тижня. Якщо вона буде меншою, то буде нижчою точність часових оцінок етапів, що може призвести до частого перегляду графіка робіт. Доцільним є також (з точки зору управління проектом) встановити максимальну тривалість етапів, яка не

перевищує 8 або 10 тижнів. Якщо є етапи, що мають занадто велику тривалість, їх слід розбити на етапи меншої тривалості.

При розрахунку тривалості етапів менеджер повинен врахувати, що виконання будь-якого етапу не обійдеться без великих або маленьких проблем і затримок. Розробники можуть припускатися помилки або затримувати свою роботу, техніка може вийти з ладу чи апаратні або програмні засоби підтримки процесу розробки можуть поступити із запізненням. Якщо проект інноваційний і технічно складний, це може стати додатковим чинником появи непередбачених проблем і збільшення тривалості реалізації проекту порівняно з початковими оцінками.

Окрім часових затрат, менеджер повинен розрахувати інші ресурси, необхідні для успішного виконання кожного етапу. Особливий вид ресурсів — це команда розробників, залучена до виконання проекту. Іншими видами ресурсів є необхідність вільного дискового простору на сервері, час використання якогось спеціального устаткування і бюджетні засоби на відрядження для персоналу, який працює над проектом.

Існує корисне емпіричне правило: оцінювати часові витрати так, ніби нічого непередбаченого і "поганого" не може трапитися, потім збільшити ці оцінки враховуючи можливі проблеми. Можливі, але важко прогнозовані проблеми значною мірою залежать від типу і параметрів проекту, а також від кваліфікації і досвіду членів команди розробників.

Графік робіт за проектом звичайно представляється у вигляді набору діаграм і графіків, які показують розбиття проектних робіт на етапи, залежності між етапами і розподіл розробників за етапами. Відзначимо, що в даний час існує багато різних програмних засобів підтримки управління проектами, наприклад Microsoft Project.

Важливою частиною роботи менеджера проекту є оцінка ризиків, які можуть вплинути на графік робіт або на якість створюваного програмного продукту, і розробка заходів щодо запобігання ризикам. Результати аналізу ризиків повинні бути відображені в плані проекту. Визначення ризиків і

розробка заходів щодо зменшення їх впливу на хід виконання проекту називається *управління ризиками*.

Спрощено ризик можна розуміти як вірогідність появи якихось несприятливих обставин, що негативно впливають на реалізацію проекту. Ризики можуть загрожувати і проекту в цілому, і створюваному програмному продукту або організації-розробнику. Можна виділити три типи ризиків.

- *Ризики проекту*, які впливають на графік робіт або ресурси, необхідні для виконання проекту.
- *Ризики розроблюваного продукту*, які впливають на якість або виробництво розроблюваного програмного продукту.
- *Бізнес-ризики*, що стосуються організації-розробника або постачальників.

Звичайно, ці типи ризиків можуть виникати одночасно. Наприклад, якщо досвідчений програміст залишає проект, це буде ризиком для проекту (оскільки затримується термін здачі готового продукту), ризиком для продукту (оскільки новий програміст, що замінив попереднього, може виявитися не дуже досвідченим і зробити помилки в програмі) і бізнес-ризиком (оскільки затримка даного проекту може негативно вплинути на майбутні ділові контакти між замовником і організацією-розробником).

Конкретні типи ризиків, які можуть вплинути на даний проект, залежать від виду створюваного програмного продукту і від організаційного оточення, де реалізується програмний проект.

Процес управління ризиками складається з чотирьох стадій:

- *визначення ризиків*, де визначаються можливі ризики для проекту, для продукту, що розробляється і бізнес-ризики;
- *аналіз ризиків*, де оцінюється вірогідність і послідовність появи ризикованих ситуацій;
- *планування ризиків*, де виконуються заходи щодо запобігання ризикам або мінімізація їхньої дії на проект;
- *моніторинг ризиків*, де постійно оцінюються вірогідності ризиків і

виконання заходів щодо пом'якшення наслідків виявлення ризикових ситуацій.

Процес управління ризиками, як і інші процеси планування, що виконуються протягом всього терміну реалізації проекту, є інтеграційними.. Спочатку розроблюються плани управління ризиками, потім постійно відстежується ситуація навкруги реалізації проекту. У разі появи нової інформації про можливі ризики заново проводиться аналіз ризиків і першорядна увага приділяється новим ризикам. У міру надходження нової інформації також змінюються плани заходів щодо запобігання і пом'якшення ризиків.

Результати процесу управління ризиками документуються у вигляді планів управління ризиками. Вони повинні містити опис можливих проектних ризиків, їх аналіз і перелік заходів, необхідних для управління ризиками.

Визначення ризиків. Визначення ризиків — це перша стадія процесу управління ризиками. На цій стадії описуються ризики, які можуть виявитися при реалізації проекту. У принципі на цій стадії не повинна оцінюватися вірогідність і значущість ризиків, але на практиці маловірогідні ризики з незначними наслідками звичайно відкидаються відразу. Визначення ризиків може здійснюватися в режимі командної роботи з використанням "мозкового штурму" або ґрунтуватися на досвіді менеджера. При визначенні ризиків може допомогти наведений нижче список можливих категорій ризиків.

✓ *Технологічні ризики.* Виникають з програмних і апаратних технологій, на основі яких розроблюється система.

✓ *Ризики, пов'язані з персоналом.* Вони пов'язані з членами команди розробників.

✓ *Організаційні ризики.* Виникають з організаційного оточення, в якому виконується проект.

✓ *Інструментальні ризики.* Пов'язані з використаними CASE-засобами та іншими засобами підтримки процесу створення ПЗ.

✓ *Ризики, пов'язані з системними вимогами.* Виявляються при зміні вимог, які пред'являються до системи, що розробляється.

✓ *Ризики оцінювання.* Пов'язані з оцінюванням характеристик програмної системи і ресурсів, необхідних для реалізації проекту.

Аналіз ризиків. При аналізі кожного певного ризику підраховується вірогідність його появи і збиток, який він може принести. Не існує простих методів виконання аналізу ризиків— значною мірою вони базуються на думці і досвіді менеджера. Не претендуючи на виняткову точність, можна навести таку шкалу вірогідності ризиків і їх наслідків:

- Ймовірність ризику вважається дуже низькою, якщо вона має значення менше 10%; низькою, якщо її значення лежить в межах 10% до 25 % середньою - при значеннях від 25% - 50%; високою, якщо значення коливаються від 50% до 75%; дуже високою - при значеннях більших 75%.

- Можливий збиток при ризикованих ситуаціях можна розділити на катастрофічний, серйозний, терпимий і незначний.

Звичайно, як ймовірність ризиків, так і можливий збиток від них повинен переглядатися в міру надходження додаткової інформації про ці ризики і у міру реалізації заходів по управлінню ними. Тому подібні таблиці ризиків повинні перероблятися на кожній стадії процесу управління ризиками.

Після проведення аналізу ризиків визначаються найбільш значущі ризики, які потім відстежуються впродовж всього терміну виконання проекту. Визначення цих ризиків залежить від їх вірогідності і можливих збитків. Зазвичай відслідковуються ризики з катастрофічними наслідками, а також ризики з серйозною шкодою, вірогідність появи яких вище середнього.

Планування розгляду можливих ризиків. Планування полягає у визначенні стратегії управління кожним конкретним ризиком, відібраним для моніторингу після їх аналізу. Тут також не існує загальноприйнятих підходів для розробки відповідних стратегій — багато з них базується на інтуїції та

досвіді менеджера проекту. **Стратегії управління ризиками зводяться до формування такого алгоритму:**

1. *Стратегії запобігання ризикам*, де слід провести заходи, які знижують вірогідність появи ризиків. Прикладом може служити стратегія виключення потенційно дефектних компонентів.

2. *Мінімізаційні стратегії*, направлені на зменшення можливих збитків від ризиків.

3. *Планування "аварійних" ситуацій*. Згідно цієї стратегії необхідно мати план заходів, які слід виконати у разі появи ризикованої ситуації.

Моніторинг ризиків. Моніторинг ризиків потребує регулярного перерахунку ймовірностей ризиків і збитків, які вони можуть принести. Для цього необхідно постійно відстежувати фактори, що впливають на ймовірність ризиків і можливих збитків.

1.4. Контрольні приклади реалізації систем управління

Автори розглянули два приклади, які будуть використанні в якості об'єктів КСУ ТП сільськогосподарської галузі: перший приклад представляє собою рухомий об'єкт, в якості якого може виступати трактор, комбайн, сіялка, косилка, тощо. Причому, приклад є прозорим в своїх компонентах реалізації. При можливому послідовному та паралельному з'єднанні вказаних структурних одиниць, він перетвориться в достатньо складний об'єкт дослідження. А якщо ввести в контур людину, то об'єкт ускладниться ще значніше. Другий приклад представляє собою технологічний апарат з двома вхідними потоками та одним виходом. Ускладнення буде досягнуте подібним чином: послідовного, паралельного з'єднання апаратів, введення в контур людини-оператора.

Система управління станом перевернутого маятника.

Розглянемо перевернутий маятник, показаний на рис. 1.2. Вісь маятника монтується на візку, який може переміщуватися в горизонтальному

напрямку. Візок приводиться в рух невеликим мотором, який в момент часу t прикладає до візка силу $\mu(t)$, і є вхідною змінною системи. Представлені сили і переміщення. В момент часу t переміщення осі характеризується функцією $s(t)$, а кутове відхилення маятника - функцією $\varphi(t)$. Маса маятника позначена буквою m , L – відстань між віссю і центром тяжіння, J – момент інерції відносно центру тяжіння і M – маса візка. До маятника прикладена сила mg в центрі тяжіння, а також горизонтальна $H(t)$ і вертикальна $V(t)$ сили реакції біля осі маятника. Тут g – швидкість сили тяжіння.

Для системи справедливі наступні рівняння:

$$m \frac{d^2}{dt^2} [s(t) + L \sin \varphi(t)] = H(t), \quad (1.1)$$

$$m \frac{d^2}{dt^2} [L \cos \varphi(t)] = V(t) - mg, \quad (1.2)$$

$$J \frac{d^2 \varphi(t)}{dt^2} = LV(t) \sin \varphi(t) - LH(t) \cos \varphi(t), \quad (1.3)$$

$$M \frac{d^2 s(t)}{dt^2} = \mu(t) - H(t) - F \frac{ds(t)}{dt} \quad (1.4)$$

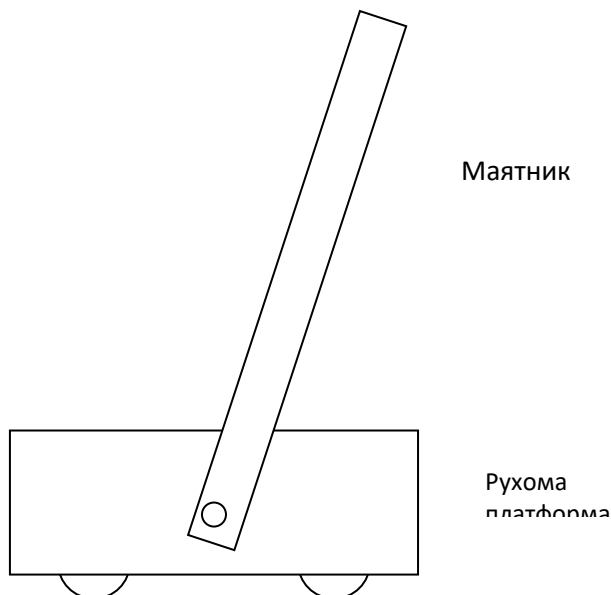


Рис. 1.2. Узагальнена модель маятник

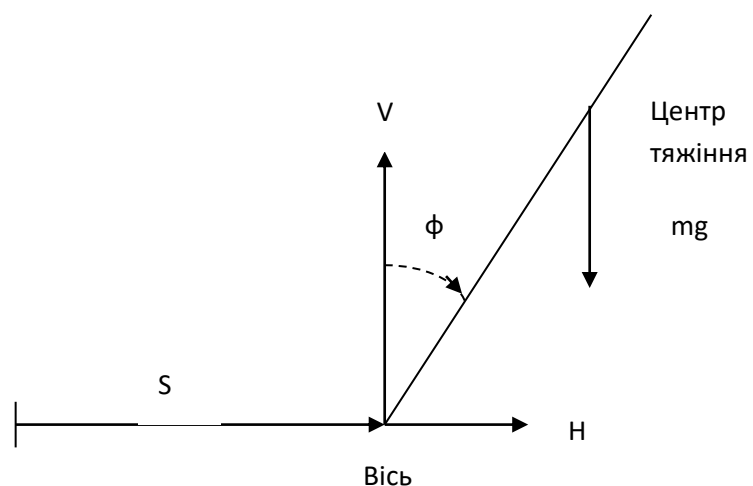


Рис.1.3

Тертя враховується тільки при руху платформи; в рівнянні F – коефіцієнти тертя. Тертя осі маятника не враховується. Після перетворення диференціальних рівнянь (1.1) і (1.2) маємо:

$$m \ddot{s}(t) + mL \ddot{\varphi}(t) \cos \varphi(t) - mL \dot{\varphi}^2(t) \sin \varphi(t) = H(t), \quad (1.5)$$

$$- mL \ddot{\varphi}(t) \sin \varphi(t) - mL \dot{\varphi}^2(t) \cos \varphi(t) = V(t) - mg, \quad (1.6)$$

$$J \ddot{\varphi}(t) = LV(t) \sin \varphi(t) - LH(t) \cos \varphi(t), \quad (1.7)$$

$$M \ddot{s}(t) = \mu(t) - H(t) - Fs(t) \quad (1.8)$$

З метою спрощення рівнянь припустимо, що маса m мала в порівнянні з M , і тому не будемо брати до уваги горизонтальної реакції $H(t)$ на рух візка. Це дозволяє замінити (1.18) рівнянням:

$$M \ddot{s}(t) = \mu(t) - Fs(t) \quad (1.9)$$

Заберемо $H(t)$ і $V(t)$ з рівняння (1.15)-(1.17), отримаємо:

$$(J + mL^2) \ddot{\varphi}(t) - mgL \sin \varphi(t) + mL \ddot{s}(t) \cos \varphi(t) = 0 \quad (1.10)$$

Проводячи ділення на $J + mL^2$, знайдемо

$$\ddot{\varphi}(t) - \frac{g}{L} \sin \varphi(t) + \frac{1}{L} \ddot{s}(t) \cos \varphi(t) = 0, \quad (1.11)$$

де

$$L' = \frac{J + mL^2}{mL}. \quad (1.12)$$

Ця величина називається ефективною довжиною маятника, оскільки рух математичного маятника довжиною L' також описується рівнянням (1.11).

Виберемо як номінальне рішення $\mu(t) \equiv 0$, $s(t) \equiv 0$, $\varphi(t) \equiv 0$. Лінеаризацію легко виконати, розкладаючи $\sin \varphi(t)$ і $\cos \varphi(t)$ в ряди Тейлора і підставляючи в рівняння (1.21) тільки перші члени. Лінеаризація (1.11) приводить до рівняння:

$$\ddot{\varphi}(t) - \frac{g}{L'} \varphi(t) + \frac{1}{L'} \ddot{s}(t) = 0 \quad (1.13)$$

В якості компонент вектора стан $x(t)$ вибираємо

$$\begin{aligned}
\xi_1(t) &= s(t), \\
\dot{\xi}_2(t) &= \dot{s}(t), \\
\xi_3(t) &= s(t) + L' \varphi(t), \\
\dot{\xi}_4(t) &= \dot{s}(t) + L' \dot{\varphi}(t).
\end{aligned}
\tag{1.14}$$

Третя компонента стану є лінеаризованою апроксимацією переміщення точок маятника, який знаходиться на відстані L' від осі. Функцію $\xi_3(t)$ розглядають як переміщення маятника. При вибраних значеннях з (1.9) і (1.13) визначимо лінеаризоване рівняння стану:

$$\begin{aligned}
\dot{\xi}_1(t) &= \xi_2(t), \\
\dot{\xi}_2(t) &= \frac{1}{M} \mu(t) - \frac{F}{M} \xi_2(t), \\
\dot{\xi}_3(t) &= \xi_4(t), \\
\dot{\xi}_4(t) &= g \varphi(t) = \frac{g}{L'} [\xi_3(t) - \xi_1(t)],
\end{aligned}
\tag{1.15}$$

яке в векторно-матричних значеннях мають вигляд:

$$\dot{x}(t) = \begin{bmatrix} 0 & 1 & 0 & 0 \\ 0 & -\frac{F}{M} & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 \\ -\frac{g}{L'} & 0 & \frac{g}{L'} & 0 \end{bmatrix} x(t) + \begin{bmatrix} 0 \\ 1 \\ 0 \\ 0 \end{bmatrix} \frac{1}{M} \mu(t),
\tag{1.16}$$

де $x(t) = \text{col}[\xi_1(t), \xi_2(t), \xi_3(t), \xi_4(t)]$.

Нижче параметрам системи присвоюються наступні числові значення:

$$\begin{aligned}
\frac{F}{M} &= 1\text{с}^{-1}, \\
\frac{1}{M} &= 1\kappa\text{г}^{-1}, \\
\frac{g}{L'} &= 11,65\text{с}^{-2}, \\
L' &= 0,842\text{м}.
\end{aligned}
\tag{1.17}$$

Розглянемо приклад дослідження типової системи керування процесом змішувального баку, схема якого представлена на рис. 1.4. Бак наповнюється за допомогою двох потоків, які мають змінні миттєві витрати $F_1(t)$ і $F_2(t)$. Обидва вхідних потоки утримують розчинні речовини з постійними

величинами концентрації c_1 і c_2 . Вихідний потік має масову швидкість витікання $F(t)$. Припустимо, що вміст баку перемішується так, що концентрація вихідного потоку дорівнює концентрації $c(t)$ в бачку.

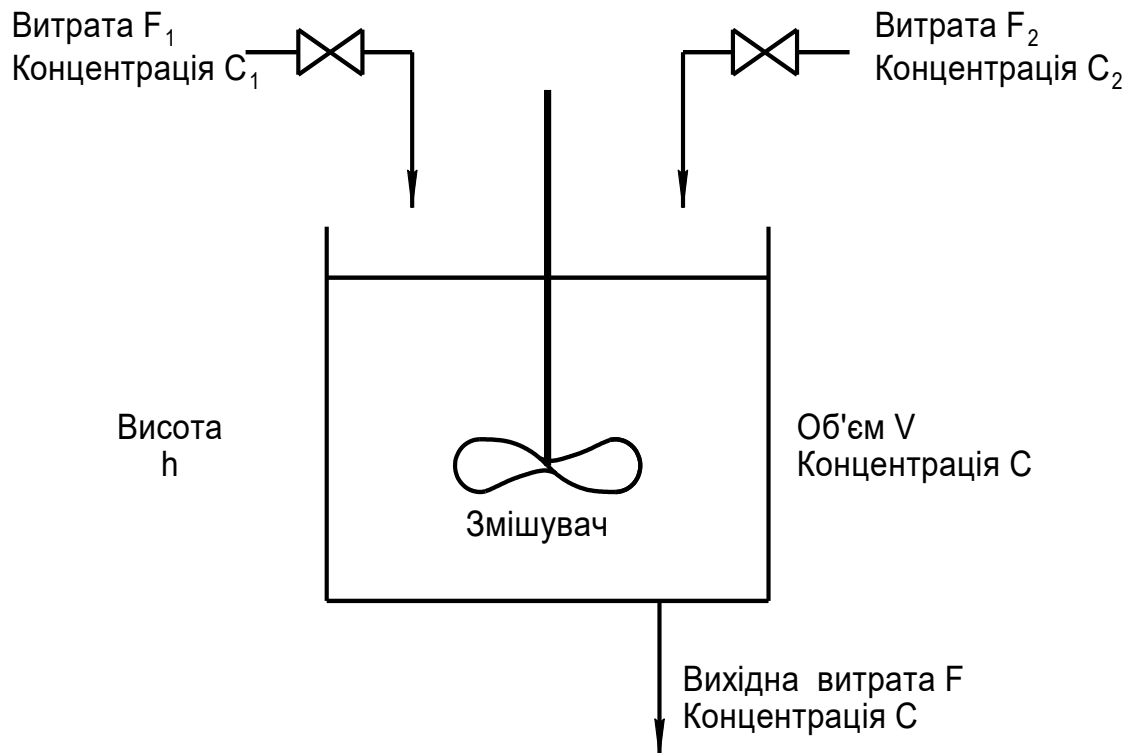


Рис. 1.4. Узагальнена модель змішувальної ємкості

Рівняння балансу мас для бачка має такий вигляд:

$$dV(t)/dt = F_1(t) + F_2(t) - F(t) \quad (1.18)$$

$$d/dt [c(t)V(t)] = c_1F_1(t) + c_2F_2(t) - c(t)F(t), \quad (1.19)$$

де $V(t)$ - об'єм рідини в бачку. Миттєва витрата вихідного потоку $F(t)$ залежить від висоти $h(t)$ таким чином:

$$F(t) = k\sqrt{h(t)}, \quad (1.20)$$

де k - експериментальна константа. Якщо бак має постійну площу поперечного перетину S , то можна записати:

$$F(t) = k \sqrt{V(t)/S} . \quad (1.21)$$

Тоді рівняння балансу мас прийме вигляд:

$$dV(t)/dt = F_1(t) + F_2(t) - k \sqrt{V(t)/S} \quad (1.22)$$

$$d/dt[c(t)V(t)] = c_1 F_1(t) + c_2 F_2(t) - c(t)k\sqrt{V(t)/S} . \quad (1.23)$$

Розглянемо спочатку випадок установленого стану, коли всі величини є постійними :

F_{10} , F_{20} , і F_0 – витрати, V_0 – об'єм і c_0 – концентрація рівноваги в бачку. Тоді мають місце наступні відношення:

$$0 = F_{10} + F_{20} - F_0 , \quad (1.24)$$

$$0 = c_1 F_{10} + c_2 F_{20} - c_0 F_0, \quad (1.25)$$

$$F_0 = k \sqrt{V_0/S} . \quad (1.26)$$

При заданих F_{10} і F_{20} ці рівняння можуть бути розв'язані відносно F_0, V_0 , і c_0 . Припустимо тепер, що виникли невеликі відхилення від установленого стану. Напишемо:

$$\left. \begin{aligned} F_1(t) &= F_{10} + \mu_1(t), \\ F_2(t) &= F_{20} + \mu_2(t), \\ V(t) &= V_0 + \xi_1(t), \\ c(t) &= c_0 + \xi_2(t). \end{aligned} \right\} \quad (1.27)$$

де μ_1 і μ_2 розглядаються як вхідні змінні; а ξ_1 і ξ_2 змінні стану. У вказаних припущеннях, чотири параметри є малими, лінеаризація (1.22) і (1.23) приводить до рівняння:

$$\dot{\xi}_1(t) = \mu_1(t) + \mu_2(t) - \frac{k}{2V_0} \sqrt{V_0/S} \xi_1(t) \quad (1.28)$$

$$\dot{\xi}_2(t)V_0 + c_0 \dot{\xi}_1(t) = c_1 \mu_1(t) + c_2 \mu_2(t) - c_0 \frac{k}{2V_0} \sqrt{V_0/S} \xi_1(t) - k \sqrt{V_0/S} \xi_2(t) . \quad (1.29)$$

Підставляючи (1.9) в ці рівняння, отримаємо:

$$\dot{\xi}_1(t) = \mu_1(t) + \mu_2(t) - 1/2F_0/V_0\xi_1(t), \quad (1.30)$$

$$\dot{\xi}_2(t)V_0 + c_0\dot{\xi}_1(t) = c_1\mu_1(t) + c_2\mu_2(t) - 1/2c_0F_0/V_0\xi_1(t) - F_0\xi_2(t). \quad (1.31)$$

Введемо параметр

$$V_0/F_0 = \Theta, \quad (1.32)$$

який називається тимчасовим заповненням баку. Виключення $\dot{\xi}_1$ із (1.31)

приводить до лінеаризації диференціального рівняння стану:

$$\dot{x}(t) = \begin{bmatrix} -\frac{1}{20} & 0 \\ 0 & -\frac{1}{0} \end{bmatrix} x(t) + \begin{bmatrix} 1 & 1 \\ \frac{c_1 - c_0}{V_0} & \frac{c_2 - c_0}{V_0} \end{bmatrix} u(t), \quad (1.33)$$

де $x(t) = \text{col} [\xi_1(t), \xi_2(t)]$ і $u(t) = \text{col} [\mu_1(t), \mu_2(t)]$

Якщо визначити вихідні змінні у вигляді

$$\begin{aligned} \eta_1(t) &= F(t) - F_0 \approx 1/2F_0/V_0\xi_1(t) = 1/20\xi_1(t), \\ \eta_2(t) &= c(t) - c_0 = \xi_2(t), \end{aligned} \quad (1.34)$$

то можна доповнити рівняння (1.33) лінеаризованим рівнянням вихідної змінної:

$$y_n(t) = \begin{bmatrix} \frac{1}{20} & 0 \\ 0 & 1 \end{bmatrix} x(t), \quad (1.35)$$

де $y(t) = \text{col} [\eta_1(t), \eta_2(t)]$. Прийmemo такі числові значення параметрів:

$F_{10} = 0,015 \text{ м}^3/\text{с}; F_{20} = 0,005 \text{ м}^3/\text{с}; F_0 = 0,02 \text{ м}^3/\text{с}; c_1 = 1 \text{ кмоль}/\text{м}^3; c_2 = 2 \text{ кмоль}/\text{м}^3; c_0 = 1,25 \text{ кмоль}/\text{м}^3, V_0 = 1 \text{ м}^3, \theta = 50 \text{ с}.$

У результаті лінеаризована система рівнянь прийме вигляд:

$$\left. \begin{aligned} \dot{x}_n(t) &= \begin{bmatrix} -0,01 & 0 \\ 0 & -0,02 \end{bmatrix} x(t) + \begin{bmatrix} 1 & 1 \\ -0,25 & 0,75 \end{bmatrix} u(t) \\ y_n(t) &= \begin{bmatrix} 0,01 & 0 \\ 0 & 1 \end{bmatrix} x(t). \end{aligned} \right\} \quad (1.36)$$

РОЗДІЛ II. ОСНОВИ ТЕОРІЇ МОДЕЛЮВАННЯ ІНТЕГРОВАНИХ КОМП'ЮТЕРНИХ СИСТЕМ УПРАВЛІННЯ ТЕХНОЛОГІЧНИМИ ПРОЦЕСАМИ

2.1 Задачі розробки моделей та узагальнене дерево функцій комп'ютерних систем управління технологічними процесами

Відповідно до ГОСТ [6], САПР – це організаційно-технічна (людина-машинна) система, що складається з комплексу засобів автоматизації проектування, взаємопов'язаних з необхідними підрозділами проектної організації чи колективом фахівців (користувачем системи), яка виконує автоматизоване проектування. Комплекс засобів автоматизації проектування складається із сукупності засобів методичного, організаційного, інформаційного, програмного і технічного забезпечень.

Методичне забезпечення (МЕТЗ) — сукупність документів і матеріалів, що встановлюють склад, правила відбору і експлуатації засобів забезпечення автоматизованого проектування, необхідних для виконання автоматизованого проектування. Організаційне забезпечення — це сукупність документів, що встановлюють склад проектної організації і її підрозділів, зв'язку між ними, їх функції, а також форму представлення результату проектування і порядок розгляду проектних документів, необхідних для виконання автоматизованого проектування. Інформаційне забезпечення — сукупність свідчень, необхідних для виконання автоматизованого проектування, представлених у певній формі. Програмне забезпечення — сукупність машинних програм, необхідних для виконання автоматизованого проектування, представлених у заданій формі. Технічне забезпечення — сукупність взаємопов'язаних і взаємодієвих технічних засобів, призначених для виконання автоматизованого проектування. ГОСТ [7] дається визначення поняття проектування.

Проектування — це процес складання опису, необхідного для створення в заданих умовах ще неіснуючого об'єкта, на основі первинного опису цього об'єкта і (чи) алгоритму його функціонування чи алгоритму процесу перетворення первинного опису (у ряді випадків кількаразової), автоматизації заданих характеристик об'єкта та алгоритму його функціонування чи алгоритму процесу, усунення некоректності первинного опису і послідовне подання (за необхідності) описів різними мовами. Це визначення закріплює наявну й узаконену практику проектування.

Автоматизоване проектування — це проектування, при якому окремі перетворення об'єкта і (чи) алгоритму його функціонування чи алгоритму процесу, а також подання описів на різних мовах здійснюється взаємодією людини й ЕОМ.

Надалі будемо виходити з наступного визначення поняття проектування. Проектування — це вид цілеспрямованої виробничої діяльності людини чи колективу фахівців з вирішення задач проектування, спрямованої на створення пристроїв чи систем, що відповідають технічному завданню, оптимально задовольняють поставлені вимоги і задовільно функціонують протягом заданого проміжку КСУ при прогнозованих умовах середовища.

Система автоматизованого проектування складається з підсистем і компонентів. Підсистемою САПР називається виділена за деякими ознаками частина САПР, що забезпечує одержання закінчених проектних рішень і відповідних проектних документів. Розрізняють об'єктно-орієнтовані (об'єктні) і об'єктно-незалежні (інваріантні) підсистеми САПР.

Підсистема САПР складається з компонентів САПР, об'єднаних загальною для даної підсистеми цільовою функцією, що забезпечують функціонування цієї підсистеми. Компонентом САПР називається елемент засобу забезпечення, що виконує певну функцію в підсистемі САПР. Наприклад, компонентами методичного забезпечення є документи, у яких викладені цілком чи з посиланням на першоджерела теорії, методи, способи,

математичні моделі, алгоритми, алгоритмічні спеціальні мови для опису об'єктів, термінологія, нормативи, стандарти й інші дані, що забезпечують методологію проектування у підсистемах САПР.

Метою такої декомпозиції є побудова єдиної методології розробки і створення САПР різних рівнів складності і об'єднання їх в ієрархічну структуру, що забезпечує вирішення комплексних проблем відповідно до планування життєвих циклів об'єктів проектування і створення єдиного методичного й інформаційного забезпечення САПР [8].

Узагальнена САПР може бути представлена якоюсь мережею САПР. Кожна із САПР будь-якого рівня може мати свої підсистеми САПР з професійною чи об'єктною орієнтацією на фахівців визначеного профілю [9, 10] — автоматизовані робочі місця конструкторів (АРМК).

До формування задач розробки САПР можна застосувати наступну схему взаємозв'язку:

$$\begin{aligned} \left\langle \begin{array}{l} \text{засоби система} \\ \text{розробки САПР} \end{array} \right\rangle &\rightarrow \langle \text{ціль} - \text{САПР} \rangle \rightarrow \\ &\rightarrow \langle \text{засоби} - \text{САПР} \rangle \rightarrow \left\langle \begin{array}{l} \text{ціль} - \text{рішення} \\ \text{задач проектування} \end{array} \right\rangle \end{aligned}$$

Рис. 2.1. Ланцюг взаємозв'язків розробки САПР

де в даному випадку цілі переходять у засоби, а засоби стають цілями, тобто:

1) для того, щоб розробити об'єкт проектування (систему, пристрій) з бажаними характеристиками, необхідна система проектування, що відповідає заданим вимогам (типу: бути автоматизованою);

2) для того, щоб розробити САПР, що відповідає системі вимог (принципів), необхідна система, що створює САПР, типу організаційної структури з визначеними ресурсами.

Якщо слідувати елементам формалізованого викладу, то вище сказане можна записати:

1) (ціль): (об'єкт, що якісно вирішує задачі, і виконує певну сукупність функцій з бажаними характеристиками (якістю процесів),

(засоби): (система проектування, що забезпечує визначення структури і параметрів у першу чергу змінюваної частини системи (пристрою керування), для задоволення бажаних характеристик);

2) (ціль): (система автоматизованого проектування, що задовольняє систему вимог і вирішує задачі внутрішнього проектування з відповідним рівнем автоматизації), (засоби): (організаційна система розробки САПР, що вирішує задачі зовнішнього проектування САПР). Якщо подивитися на те, що стосується позицій життєвого циклу проектного об'єкта, то тут спостерігається наступний взаємозв'язок операцій: (проектування) - (конструювання) - (виготовлення) - (експлуатація).

За межами цієї схеми залишилися завдання щодо забезпечення операцій проектування, пов'язані із створенням організаційної структури розробки САПР, оскільки вони відносяться до життєвого циклу цієї системи, а не даного об'єкта проектування.

Завдання (типу проблеми) багатоцільової (багатокритеріальної, векторної) оптимізації при розробці САПР може бути частково упорядковане застосуванням системних моделей САПР. Виявляється [11], що різні види забезпечень САПР взаємозалежні і завдання багатопланової оптимізації може бути зведене до однопланової за рахунок їх ранжирування й упорядкування, а також взаємозалежного відображення. Застосовуючи системну модель до різних видів забезпечення САПР, можна упорядкувати завдання в таку логічну послідовність:

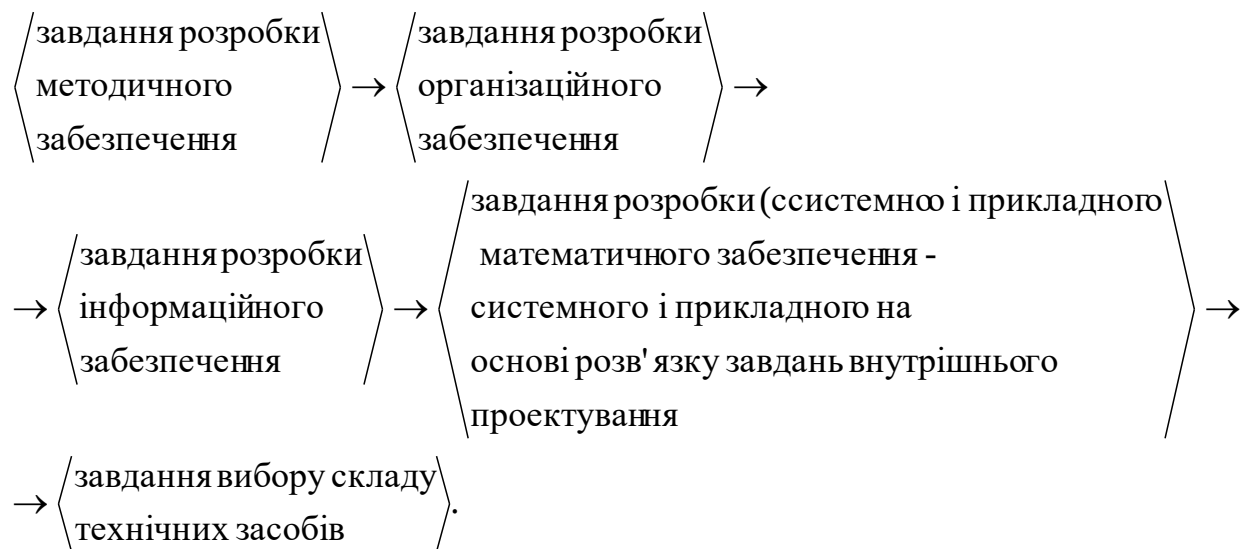


Рис. 2.2. Логіко-послідовна системна модель розробки САПР

Відповідно до вимог системного підходу, у результаті аналізу розв'язання завдань розробки САПР будується логічна схема їх розв'язання, тобто алгоритм проектування.

Види забезпечення САПР можна подати у вигляді системної топологічної моделі — ієрархічної системи графів, де показана взаємодія частин на рівнях і показане взаємне відображення міжрівневих відносин.

Види забезпечень упорядковані у спеціальній послідовності:

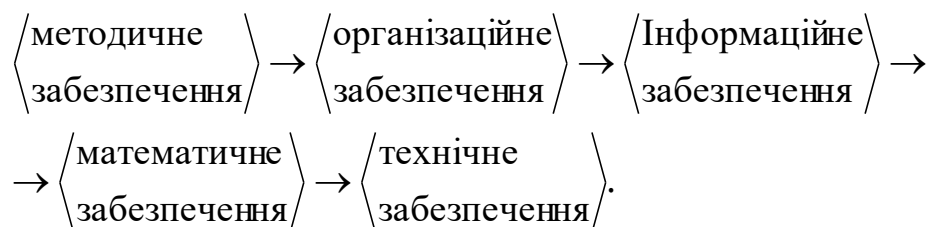


Рис. 2.3. Системне забезпечення виконання робіт проектування

Методичне забезпечення дозволяє відобразити процес завдання і проходження проекту в САПР згідно рівнів системної моделі об'єкта проектування і гарантувати реалізацію оптимальних методик проектування. Таким чином, методичне забезпечення — це не що інше, як інструкція по роботі з моделлю. Вона повинна містити власне описову частину і перетворюючу. Прикладами, що ілюструють методику, є реалізація процесів проектування, що відображають функціонування відповідних засобів, і отримані при цьому результати. Завдання розробки методичного

забезпечення практично виходить за межі зовнішнього проектування і є самостійним завданням, що приєднується і до САПР, і до тієї наукової дисципліни, що гарантує можливість розв'язання завдань по створенню САПР відповідної орієнтації. При застосуванні до САПР галузевої орієнтації методичним супроводом розробки САПР є (чи може бути) системний підхід до розробки складних систем керування, описаний у роботах [12, 13, 14]. Методичне забезпечення, у свою чергу, є ієрархічною структурою і тут доречно навести етапність розробки САПР, прийняту і рекомендовану в роботах [15, 16].

Розв'язання складних завдань проектування вимагає використання праці не окремих осіб, а колективів проектувальників, що природно призводить до організаційного забезпечення САПР, розподілу й узгодження функцій. Математичною моделлю такої взаємодії може служити модель ієрархічної системи, рівні якої визначаються складністю об'єкта проектування, а отже, необхідністю узгодження зусиль колективу.

Завдання зовнішнього проектування для організаційного забезпечення САПР може бути сформульоване як завдання встановлення оптимальної взаємодії частин системи для досягнення її оптимальних характеристик. При цьому зв'язки встановлюються між підрозділами як зверху вниз (і навпаки) відповідно до функцій керування, так і ліворуч - праворуч відповідно до етапів життєвого циклу об'єкта проектування. Якщо системне математичне програмне забезпечення функціонально дозволяє реалізувати керування обчислювальним процесом, то необхідні мовні засоби мови програмування для такого керування процесом проектування. Цей вид забезпечення є одним з рівнів системної моделі і дозволяє задавати і відображати можливі альтернативи при проектуванні, а їх конкретна реалізація вже буде здійснюватися засобами як математичного, так і технічного забезпечення. Крім мов, що складають так звану процедурну частину інформаційного забезпечення, необхідні засоби для опису і наповнення вхідної, вихідної і

проміжної інформації. Це так звані бібліотеки, архіви, банки даних у цьому сенсі...

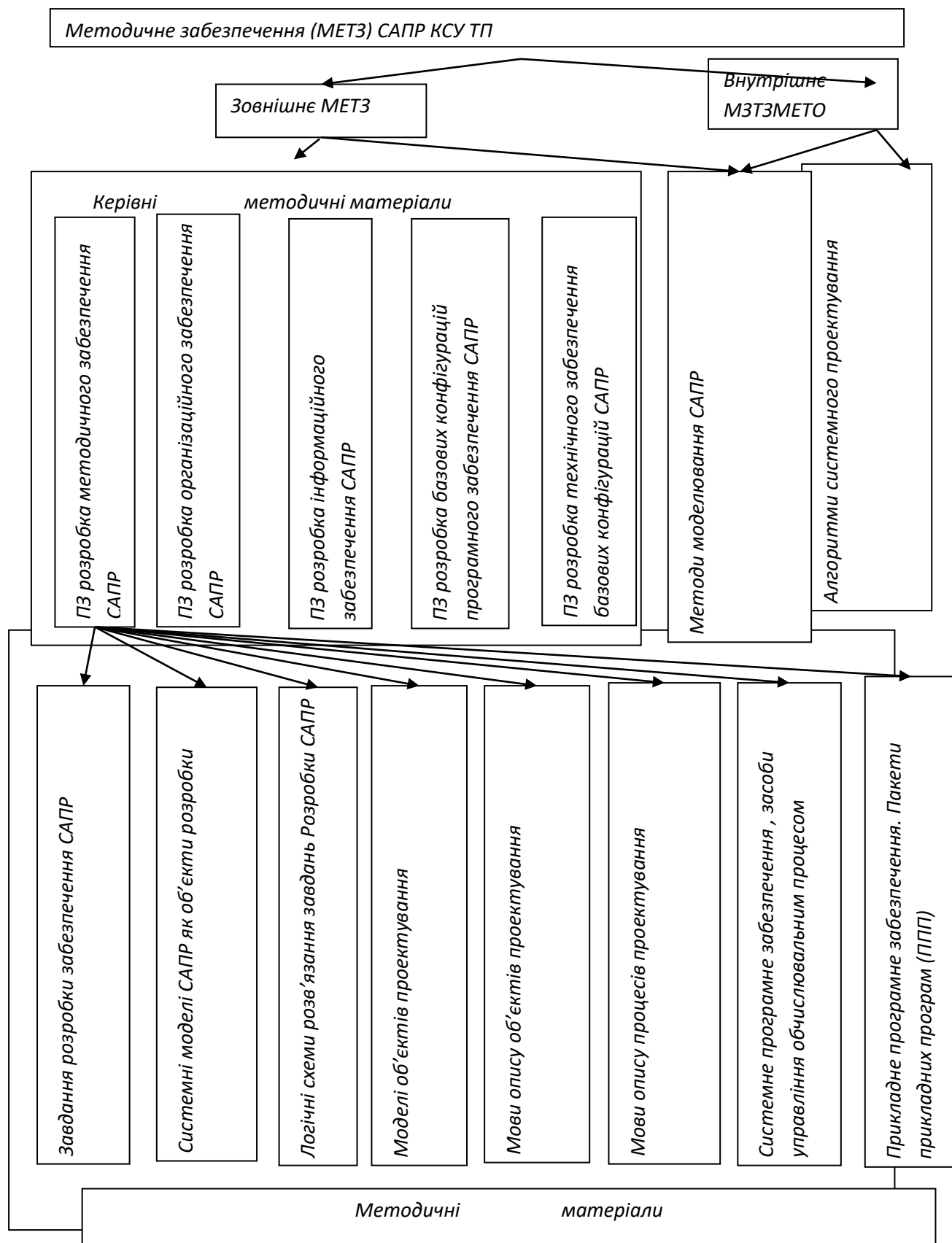


Рис.2.4. Класифікація методичного забезпечення САПР КСУ ТП

У цьому сенсі САПР практично не відрізняється від інших обчислювальних інформаційно-довідкових систем.

Якщо розглянути завдання зовнішнього проектування стосовно до інформаційного забезпечення, то мова йде про розробку зручних для людини засобів спілкування з програмами, що проектуються.

Математичне забезпечення САПР умовно можна поділити на системне і програмне. Програмне забезпечення у свою чергу складається, зі стандартного і проблемного (об'єктно-орієнтованого). Це окремі програми-модулі, пакети прикладних програм: проблемних програм проектування, програм фізичних розрахунків і моделювання. Проблемне програмне забезпечення повинне покривати сукупність завдань внутрішнього проектування.

Така структура означає, що будь-яке завдання з списку чи його складова частина може бути розв'язане відповідною програмою чи підпрограмою.

Достатність забезпечується узгодженістю вхід — вихідних модулів. Наявність тільки модулів і епізодичний пакетний підхід до ПК умовно можна назвати машинним проектуванням, щоб відрізнити його від автоматизованого чи автоматичного. Таким чином, з погляду математичного забезпечення автоматизація проектування зводиться до того, щоб забезпечити в потрібний час і в зазначеному місці необхідний модуль. Чим довше існує цей процес без втручання людини, тим вище рівень автоматизації в САПР. Завдання зовнішнього проектування САПР можна сформулювати з двох підзавдань:

- потрібно розробити функціонально повний набір програм (пакетів програм) для покриття завдань проектування відповідно до графа цілей чи задач;

- потрібно розробити функціонально повний набір керівних програм відповідно до логічних схем розв'язання завдань проектування.

Склад технічних засобів є однорідним у тому сенсі, що технічні елементи (периферійні пристрої, проміжні обчислювачі і центральний

процесор) утворюють технічну систему однорідну в технічному сенсі, тобто технічне забезпечення САПР — це технічна система в загальному випадку із змінним складом, тобто структурою. Цей склад можна зобразити топологічними моделями типу ієрархічних чи графів структурних схем. Завдання оптимізації вибору складу технічних засобів поки чекає свого рішення. Склад ТЗ повинен гарантувати розв'язання завдань внутрішнього ТВ проектування і забезпечити умову подальшого розвитку системи. З точки зору системної моделі САПР цей вид забезпечення є найнижчим рівнем, у який занурюється програмне (математичне) забезпечення САПР. Завдання зовнішнього проектування формулюється як задача оптимального вибору складу технічних засобів САПР.

Вихідною інформацією при цьому є результати аналізу завдань внутрішнього проектування (у вигляді складу модулів і ППП) і вимоги до технічних засобів (ресурсів) у вигляді критеріїв і обмежень.

Вище описані деякі завдання, що з'являються при створенні САПР ескізно можуть бути представлені системною моделлю. На даному етапі розробки САПР необхідно ефективніше підійти до розв'язання цих завдань з позиції їх моделювання для з'ясування ступеня відповідності бажаним характеристикам у створюваній САПР.

Створення (розробка) сукупності забезпечення САПР складає основу проблем проектування САПР різної орієнтації. Дійсно, якщо САПР — це інформаційно-обчислювальна система (ІОС), основою реалізації якої є універсальні засоби дискретної обчислювальної техніки (hardware), то з огляду на універсальний характер цих засобів необхідне створення програмного забезпечення (software). Якщо ж цим буде користуватись людина чи колектив людей, то необхідні також і інші види забезпечення.

Галузева (професійна, об'єктна) орієнтація САПР (розв'язання проблем внутрішнього проектування) визначає і структуру математичного (прикладного програмного) забезпечення.

Рівнем автоматизації в САПР забезпечується розподіл частин навантаження, що припадає на людину й ЕОМ.

Чим більше завдань вдається реалізувати попередньо за рахунок програмування на ЕОМ, тим менш рутинною стає робота проектувальників, піднімається рівень автоматизації в САПР і більше сервісу надається проектувальнику. Розумний розподіл ресурсів — це одна з головних завдань створення САПР. Використання системного підходу до розробки забезпечує від можливих прорахунків.

З аналізу задач внутрішнього проектування об'єктів розробки випливає перелік питань, що підлягають визначенню при реалізації автоматизованого розв'язання цих завдань. Для більш повного і змістовного аналізу (аналогічно одержанню необхідних і достатніх умов можливості розв'язання) необхідно здійснювати системний підхід. Дійсно, вирішити (і розв'язувати в процесі розробки) завдання проектування можна різноманітними способами. З урахуванням різноманітності видів забезпечення САПР (компонент) можна говорити про безліч варіантів реалізації кожного з видів забезпечення, а в цілому — про розв'язання оптимізаційного (у багатоплановій, багатоцільовій постановці) завдання проектування й одержання необхідних і достатніх умов оптимальності. Відповідно до вимог системного підходу [11, 12, 13] розробка САПР повинна відповідати наступним принципам: а) системної єдності (комплексності, системності); б) адекватності (бажаний компроміс між цілями і засобами); в) розвитку; г) інваріантності; д) єдності інформаційної бази; е) сумісності; ж) включення. Реалізація першого принципу системного підходу до проектування призводить до поділу завдань створення САПР за ступенем їхньої енергоємності (чи рутинності) у відповідності зі шкалою інтелектуальності (граф цілей і задач).

1. Процес розробки САПР представляється певною ієрархічною структурою, нижній рівень якої — практична відсутність автоматизації при епізодичному, разовому «підході до ПК» з окремими програмами фізичних розрахунків (пакетний спосіб обробки завдань — розв'язання завдань

внутрішнього проектування). Тут на ПК покладені чисто обчислювальні функції (рутинні операції проектування), а їх програмування і використання (підготовка вихідних даних, постановка експерименту, інтерпретація результатів і ухвалення рішення) — на людину.

На наш погляд, з ростом потужності і засобів розв’язання завдань необхідно зберігати баланс між розвитком засобів підготовки й інтерпретації. Тоді ми відповідаємо принципу адекватності розробки САПР—бажаному компромісу між цілями і засобами. Задоволення принципу розвитку (при задоволенні принципу системної єдності) призводить до можливості створення САПР чергами, що в той же час не суперечить принципу адекватності, тому що процес розвитку є реалізацією черговості задач при обмеженому ресурсі.

2. Наступний рівень автоматизації в САПР — виконання робіт внутрішнього проектування засобами системного забезпечення. Наприклад, засобами виклику відповідного програмного модуля, завантаження його вихідними даними і отримання результату в зручному для людини вигляді. Для неавтоматизованої системи проектування типу проектної організації це включає достатню кількість кваліфікованих виконавців (проектувальників, конструкторів), виклик одного з них, видача завдання, проектування (використання і розрахунки) і обговорення результатів.

Якщо процес розвитку САПР організовано колективом тих самих проектувальників, що вже здійснювали розв’язання завдань проектування вручну, то впровадження автоматизації проектування буде здійснюватися ефективно.

3. Якщо ж говорити про подальші перспективи автоматизації, то мова може йти про інтеграцію завдань і засобів їх розв’язання. Це є ефективним інструмент розв’язання широкого кола завдань з високим рівнем автоматизації. Розробка по ТЗ може здійснюватись без участі виконавців на проміжних етапах, тобто можна говорити, наприклад, про цехи-автомати і фабрики по виготовленню креслень і т.ін. Основні труднощі нинішнього

етапу створення інтегрованих САПР із розвинутим системним і інформаційним забезпеченням, на наш погляд, полягає у тому, що інженерів-проектувальників відлякує робота з неадекватними системами при їх створенні (засоби ще недостатньо розвинені, щоб забезпечити спілкування з ними природною мовою).

На закінчення розглянемо деякі питання, пов'язані з проектуванням складних систем керування (автоматичних комплексів, великих технічних систем), математичною моделлю яких є логіко-динамічна система.

2.2 Проектні критерії синтезу інтегрованих комп'ютерних систем управління технологічними процесами в системному проектуванні

Критерій якості, чи цільова функція, є числовою характеристикою, що дозволяє досягнути ступінь відповідності прийнятого рішення мети, для досягнення якої здійснюється порівняння і вибір ліній поведінки (планів, команд, графіків, параметрів керування і т.д.). Вибір критерію якості (цільової функції) — один з найвідповідальніших етапів у побудові математичних моделей завдань керування. У загальному випадку неможливо одержати рішення, що одночасно задовольняло б кожен вимогу [16].

У проектних завданнях інтуїтивне уявлення про якість системи керування дозволяє підкорити одну систему керування іншої. Однак, у складних завданнях, де необхідно враховувати велику кількість часом суперечливих факторів, інтуїція і досвід не завжди призводять до раціонального розв'язання, якщо вони не підкріплені відповідним аналізом. Тому важливо оцінити, які з цих факторів варто віднести до обмежень вибору розв'язання, а які з них повинні служити критерієм якості. Як обмеження використовуються ті обмеження системи керування, для яких у даних умовах достатньо, щоб їхні числові значення не виходили з певного заздалегідь заданого діапазону. Одна з найважливіших у даних умовах характеристик приймається за критерій. Порівнянню підлягають лише ті характеристики,

що задовольняють прийняті обмеження (характеристики, що знаходяться в заданій області). Кращим є розв'язок, при якому досягається максимум чи мінімум (у залежності від постановки задачі) цільової функції.

Проблеми керування ТЕХНІЧНИХ СИСТЕМ включають:

- 1) вибір структури керування підсистемами;
- 2) визначення цілей функціонування системи в цілому і кожної з підсистем;
- 3) визначення методів оптимізації режиму роботи.

У великих технічних системах завдання вибору критерію якості функціонування, а також завдання керування, у свою чергу, має характер проблеми і включає:

- 1) вибір окремих критеріїв функціонування підсистем;
- 2) побудова критерію ефективності великої системи як функції зважених окремих критеріїв;
- 3) організацію ієрархічної системи критеріїв (при необхідності).

У загальному випадку критерій ефективності технічних систем є функцією декількох критеріїв, значення кожного з критеріїв може змінюватися в залежності від умов роботи системи. Окремі критерії при певних умовах відіграють роль обмежувальних факторів. Необхідність оптимізації технічних систем за складними критеріями з різними значеннями окремих критеріїв, а також необхідність врахування різноманітних технічних і економічних обмежень, ускладнюють побудову її математичної моделі [17, 18].

Дослідження технічних систем виконується за допомогою функціональних характеристик — показників відповідних властивостей — у такий спосіб:

- 1) вибір функціональних характеристик у залежності від призначення і характеру великої системи, що закінчується вибором основного показника;

2) обчислення величини показника якості великої системи (ефективності системи) при моделюванні системи і збільшення показника при зміні будь-якого параметра системи;

3) вибір показників, що характеризують основні властивості системи — функціоналів, що залежать від величини зміни параметрів і відповідних збільшень показника ефективності.

У теорії великих технічних систем критерії ефективності не можуть розглядатися як задані. Вони істотно залежать від критеріїв ефективності системи вищого рівня, у яку дана система входить як підсистема. На практиці при розгляді конкретних завдань можна замінити вплив достатньо високим рівнем виправлень, які базуються на дуже приблизних оцінках. За всіх обставин визначення критеріїв ефективності повинно ґрунтуватися не тільки на оцінці миттєвого стану розглянутої системи, але і на прогнозі її поведінки, виходячи з розумного компромісу між вигодою та термінами її одержання. Мета керування кожною системою вищого рівня формулюються в більш загальних термінах, ніж цілі підлеглих їм систем. Чим вищий рівень системи, тим більш комплексними й узагальненими показниками оцінюється їхній стан. Цим визначається можливість обробки інформації при виборі доцільних керівних впливів на високих рівнях ієрархії керування.

Як відомо, задача проектування технічних систем керування передбачає насамперед визначення моделі функціонування системи керування; моделі оцінки ефективності функціонування; структурних характеристик системи, що істотно впливають на якість керування (оцінка чутливості); ефективних значень структурних характеристик системи відповідно до заданої системи критеріїв якості керування серед інших критеріїв.

Введемо деякі визначення, характерні для теорії систем.

Визначення. Систему позначимо Σ . Під функцією F системи Σ слід розуміти її дію (функціонування), зумовлене кінцевою кількістю правил

(алгоритмом), на підставі яких може бути здійснена фізична реалізація системи $\sum$, здатної виконувати дану дію.

Сукупність функцій F , ($j = 1, 2, \dots, N$), властива даній системі $\sum_k$ визначає її цільове призначення. Метою функціонування системи $\sum_k$ є певна композиція функцій $K_r\{F_j\}$, яка формується, як правило, у вигляді зовнішнього доповнення за межами системи. Система здатна виконувати дану дію (комплекс дій), якщо на безлічі F (сукупності функцій F_j) здійсненна композиція $K_r[F_j]$. Складність як властивість системи керування виникає в процесі проектування швидше за все в результаті нового методологічного підходу, а потім уже як результат матеріальної природи об'єкта. Сам об'єкт (літак, корабель, чи верстат прискорювач часток) розглядається звичайно при проектуванні як механічна, електрична чи автоматична система. Вводячи в розгляд взаємодію людини з таким об'єктом (тобто визначаючи хоча б первинну форму такої взаємодії у вигляді композиції функцій системи $K_r\{F_j\}$) і, виконавши декомпозицію об'єкта на складові підсистеми, що виконують різні функції F_{ps} , переходимо до системного аналізу об'єкта, представляючи його функції у виді багато цільової моделі. Така модель при аналізі функцій об'єкта є первинною формальною конструкцією, що кладе початок вивченню взаємодії підсистем з погляду єдиного критерію досить «ємного» змісту.

Необхідність розгляду в задачі проектування багатоцільової моделі об'єкта, формування композиції функцій системи $K_r[F_j]$ як коректно заданої множини цілей системи (взаємодія з іншими підсистемами, з навколишнім середовищем, людиною) переводить методику досліджень на позиції теорії великих систем, де оцінка будь-яких рішень виконується виходячи з концепції якісно відмінної від класичної теорії автоматичного керування. При цьому одним з істотних ознак великої системи керування є ієрархічна структура зв'язків між загальним критерієм для всієї системи в цілому і окремими локальними критеріями, сформульованими для окремих підсистем

різних рівнів ієрархії. Розв'язання завдання проектування складної системи керування безумовно повинне містити питання критеріїв якості керування. Це, у свою чергу, означає (при існуванні глобального критерію, представленого в досить конструктивній формі), що рішення задачі проектування складної системи керування може існувати як рішення задачі оптимізації. Причому звідси ж стає очевидним, що ступінь глобальності такої оптимізації точно еквівалентна глобальності конструктивної форми критеріїв в ієрархічній структурі. Іншими словами, багатоцільова модель об'єкта і композицій функцій системи дозволяє розглядати завдання проектування з позицій теорії великих систем. Знайти ж рішення такого завдання представляється можливим за допомогою створення коректно вираженої системи критеріїв.

Ієрархічна система критеріїв. Розробка ієрархічної системи критеріїв може ґрунтуватися, напевно, на системі функцій F , розглянутих як деяка упорядкована безліч цілей системи керування. Тут також треба мати на увазі, що перед тим, як визначити множину функцій F_j ($j \in m$) і проводити упорядкування множин $M = \{F_j\}$, були отримані результати системного аналізу складу функцій підсистем, технологічної схеми об'єкта, властивих їй алгоритмів керування окремими підсистемами і агрегатами. Для розробки системи критеріїв принаймні необхідно, щоб для множини заданих функцій M існувала не пуста множина S_T , визначена з допомогою добутку множин U , Y і X_0 , що представляють стан функціонуючих підсистем. Якщо функція F_j , визначена на добутку множин станів U , Y , X_0 , не має жодного свого значення, що належить упорядкованій множині M , умова здійснення функцій F_j ; при функціонуванні розглянутої системи, представлені добутком множин U , Y , X_0 , не задовольняється.

Розглянемо множину змінних станів системи U , Y , X_0 , структур системи T , її функцій F_j і відносини між цими множинами, що характеризують критерій якості керування (точніше, систему критеріїв).

Нехай безліч параметризованих пар вхід — вихід (i, y) містить усі значення вихідних перемінних станів y ($y_j(t)$) системи Σ . Множина необхідних перемінних станів $X_0(x_{0j}(t))$, адекватних певній упорядкованій множині функцій $M = \{F_j\}$, може бути зіставлене з множиною станів y системи.

Множина необхідних перемінних X_0 можна порівняти з множиною реальних (припустимих) перемінних Y з точністю до збігу $X_0 = Y$, коли

$$x_{0i} - y_j = 0, \text{ тобто: } Y \cap X_0 = X_0, Y \cup X_0 = X_0. \quad (2.1)$$

Розглянута система керування практично не має обмежень, представлених множиною відносин R_j . У цьому випадку задовольнимо критерій повного збігу необхідного x_{0j} з можливим y_j , на всій множині індексів $j \in A$. Відзначимо, що розглянутий випадок повного збігу множини необхідних змінних $X_0(x_{0j}(t))$ з множиною реальних перемінних $Y(y_j(t))$ виключає напевно існування в системі індетермінізму.

Наявність невизначеності в процесі керування чи у характеристиках системи, так само як і існування обмежень, представлених множиною R_j , допускає утримання множини змінних $y_j(t)$ у межах області, заданої одним чи кількома порогами:

$$b_j < x_{0j} - y_j < c_j \quad \text{тобто} \quad Y \subset X_0. \quad (2.2)$$

У розглянутій системі збіг усіх необхідних значень $X_0(x_{0j}(t))$ з реальними змінними $Y(y_j(t))$ є неможливим. Зр озуміло, що у цьому випадку припустимим критерієм якості керування буде менш «твердий» критерій порівняно з попереднім випадком. Відзначимо, що ми не «послабляли» множину функцій $M = \{F_j\}$, а отже, і не «скорочували» множину X_0 . Подальше посилення обмежень системного аналізу приведе до нової (скороченої) множини X_0 , стосовно якої можна перейти до $X_0 = Y$. Ми можемо «послабити» $M = \{F_j\}$, тоді ми зможемо реструктурувати множину R_j , чи ж погодитися з досяжністю $(Y - X_0)$ у межах порогів.

Неможливість задоволення попередніх критеріальних умов у проєктованій системі приводить до необхідності постановки нової задачі

оптимізації, метою якої є зведення до мінімуму розбіжності між двома множинами:

$$I = \min |X_0 - X| \quad (2.3)$$

У символах алгебри множин критерій можна виразити так:

$$I = \max |X \cap X_0|. \quad (2.4)$$

Тоді в законі керування повинно бути відображене «прагнення» системи досягти максимальної кількості змінних, що співпадають для множин X і X_0 . У цьому випадку ступінь детермінізму буде менший ніж в попередньому. Отже коректно заданої системи обмежень сконструювати не вдається, а тому «твердість» критерію якості керування буде меншою в порівнянні з попередніми випадками.

З приведенного аналізу зрозуміло, що в міру звуження зони обмежень на параметри і змінні системи керування, в ній повинна послаблятися «твердість» критерію. Це потрібно розуміти як принцип можливої ієрархії критеріїв. Для досягнення умов максимально повного критерію система може бути стиснута мінімумом обмежень і, навпаки, при максимумі обмежень у системі можливе задоволення найбільш слабкого критерію.

Таким чином, ієрархія в системі критеріїв може визначатися повною інформацією про обмеження, представленою в алгоритмах керування. Тут обмеження треба розуміти в широкому сенсі, починаючи з обмежень на фізичні змінні системи та її конструктивно-технологічні характеристики і закінчуючи обмеженнями конкретних математичних методів і алгоритмів керування.

Одною з основних цілей розвитку сучасної прикладної математики є можливість побудови теорії й інструментарію математичного експерименту з метою проектування великих технічних систем. Центральне місце в такому експерименті займало донедавна моделювання законів функціонування технічних систем. Слідом за автоматизацією технологічних процесів (ТП) і процесів керування (ПК), де об'єктом аналізу і синтезу були закони функціонування технічних систем, наступив третій, завершальний, етап

автоматизації проектування технічних систем. Наукові та інженерні завдання цього етапу висунули на перший план методологічні і теоретичні питання моделювання технічних систем як об'єкта проектування, побудови та програмованої експлуатації системи. Домінуючим завданням в моделюванні технічних систем поставило задачі програмування життєвих циклів технічних систем, які повинні враховуватись на ранніх (системних) етапах проектування. Якщо при розв'язанні задач автоматизації КСУ ТП традиційні моделі технічних систем дозволяли реалізувати математичний експеримент, то при системному проектуванні такі моделі не можуть бути використані навіть для інтерпретації результатів математичного експерименту. Традиційно в теорії і практиці проектування технічних систем розвивалися методи, за основу в яких бралися локально виділені фізичні об'єкти. Такий об'єкт визначав і теоретичну і прикладну області досліджень, як це історично склалося в теоретичній механіці, теоретичній радіотехніці, теорії автоматів, теорії енергетичних двигунів, теорії корабля, тощо. Більшість з таких прикладних теорій включало в проблематику своїх досліджень вивчення внутрішніх властивостей об'єктів. Тим самим ці теорії досягли відомої досконалості. Побудована аксіоматика традиційних теорій диктувала занадто тверді вимоги до повноти апріорних посилок і вихідних даних у завданнях проектування.

Сучасні технічні системи — об'єкти проектування — фізично не зведені до механічної сукупності локально функціональних пристроїв і підсистем. Сучасний літальний апарат, наприклад, є багатоцільовою системою, що функціонує, насамперед, за рахунок найскладнішої взаємодії механічної, енергетичної, радіотехнічної та іншої підсистем, керованих у процесі виконання динамічних операцій для досягнення кожної з конкретних цілей. Традиційні моделі керування польотом не дозволяли виразити аспекти взаємодії єдиною мовою, ввести в закони функціонування категорії цілей і представити багато інших задач системного моделювання. Метою моделювання технічних систем є створення математично узгоджених систем

моделей, що забезпечують постановку і проведення великого математичного експерименту при розв'язанні завдань системного проектування технічних систем визначеного класу.

У даній роботі розглянуто завдання моделювання технічних систем, які розв'язуються апаратом логіко-диференціальних рівнянь, альтернативних інформаційних мереж і пакетів динамічних операцій. Деякі математичні і методологічні питання моделювання технічних систем у різних аспектах викладалися раніше в роботах [19, 20—22].

2.3. Математичні моделі динамічних операцій інтегрованих комп'ютерних систем.

Дослідженню задач проектування складних систем присвячене значна кількість робіт у вітчизняній і закордонній літературі [21, 22, 23]. Розглядалися системи великої розмірності з диференціальною динамікою [24], системи з багатьма рівнями і складним характером взаємодії та функціонування систем, що мають дискретну природу, типу інформаційних мереж [25]. Мають поширення складні системи, функціонування, які представляється моделями з ймовірносними характеристиками [21]. Перераховані різновиди моделей складних систем розглядалися для опису законів функціонування окремих класів об'єктів. В той же час, вони математично не узгоджувалися з іншими процесами, наприклад, витратами і відновленнями ресурсів технічних систем і властивостями досяжності цілей надійності, ефективності виконання операцій.

Моделі, що розробляються в данній монографії дозволяють вирішити значну кількість прикладних задач моделювання технічних систем, які містять досить строгі умови математичного узгодження диференціальних моделей з автоматними моделями, а їхні «гібриди» — з альтернативними інформаційними мережами. Ці умови дозволили одержати моделі

динамічних операцій і, нарешті, побудувати і дослідити пакети динамічних операцій.

Динамічна диференціальна система (ДДС) розглядається як упорядкована шістка елементів:

$$S_{[0, \infty)} = (T, U, X, Y, \varphi, \eta), \quad (2.5)$$

де перші чотири компоненти є нескінченними, і в категоріях яких задається відображення:

$$W: R_n \times R_m \times T \rightarrow R_n, \quad (2.6)$$

яке інтерпретується відносинами між властивостями вимірюваних величин:

$$t \in T, u(t) \in U, x(t) \in X, \quad (2.7)$$

і представляється безупинними функціями:

$$f_1(x, u, t), f_2(x, u, t), \dots, f_n(x, u, t) \quad (2.8)$$

$$x = f(x, u, t), \text{ то } \psi(t_0) \in R_n \quad (2.9)$$

Якщо $\varphi(t)$ - рішення системи де $t_0 \in T$ є початковими значеннями, що визначають поведінку системи для $t > t_0$.

Елементи φ і η позначають перехідну і вихідну функції системи, що дозволяють визначити як стан $x(t)$, так і вихід ДДС, тобто:

$$x(t) = \varphi(x(t_0), u_{[t_0, t]}, (t_0, t]), \quad (2.10)$$

$$y(t) = \eta(x(t_0), u_{[t_0, t]}, (t_0, t]). \quad (2.11)$$

При такому підході побудови моделей ДДС появилась можливість використання строгої аксіоматики [24], що грає визначальну роль у дослідженні внутрішніх властивостей ДДС в задачах системного проектування (керованість, спостережувальність, досяжність, ідентифікованість, стійкість) [26, 27]. Багато складних об'єктів (літальні апарати, енергетичні комплекси, інформаційні мережні системи) є стаціонарними на обмежених інтервалах $(t_0, t) \in T$, більше того, нестаціонарність конструюється цілеспрямовано для розв'язання завдань керування структурою таких комплексів (профілю крила, складу енергетичних блоків, структури інформаційної мережі).

У цьому випадку, появилась можливість представити математичну структурну нестационарність ДДС двома кінцевими нескінченостями: $U = \{u_k(t): u_k \times (t) \text{ безперервна, } k \in K\}$ і $F = \{f_s(x, u, t): f_s \text{ — безперервна, } s \in S\}$. Зокрема, для релейної скалярної функції $i(t)$ з нескінченості $U = \{u_k(t): u_k(t) \in [-1, 1], k = 1, 2\}$ областю керування $u(t) \in R \in R = \{-1, 1\}$. У загальному випадку на нескінченості U дискретні переходи керування $i(t)$ відбуваються за логічних умов L_k^i з областю значень $\{0, 1\}$. Тоді функція $i_L(t) \in R_m$ представиться як упорядкована послідовність безперервних функцій $i_k(t)$:

$$i_L(t) = \sum_{k=1}^k L_k^i i_k(t) \text{ при } L_k^i \wedge L_j^i = 0, k \neq j. \quad (2.12)$$

Вся сукупність дискретних переходів на кінцевій нескінченості функцій $U \{i_k(t)\}$ задана моделлю кінцевого автомата A^u , у якому логічні умови L_k^u можна прийняти як елементи вхідного алфавіту.

Аналогічним чином моделюється вся сукупність дискретних переходів на нескінченість $F \{f_s\}$, де

$$f_L(x, i, t) = \sum_{s=1}^S L_s^j f_s(x, I, t) \quad (2.13)$$

при виконанні умов

$$L_f^s \wedge L_d^j = 0, s \neq d; \bigvee_{s=1}^S L_s^j = 1. \quad (2.14)$$

Два логічних автомати A^u й A' (Мура чи Милі) визначають керовану структурну динаміку логіко-динамічної системи (ЛДС). Приймавши за аналогією з (2.1) «гібридні» функції стану $\varphi_L = \sum_{s=1}^S L_s^f \varphi_s$ і виходу $\eta_L = \sum_{s=1}^S L_s^f \eta_s$ остаточно можемо записати для ЛДС (з автоматом Мура A^f) рівняння виходу:

$$y(t) = \sum_{s=1}^S L_s^f \eta_s(x(t_0), i_L(t), (t_s, t_{s+1}]), \quad (2.15)$$

рівняння стану:

$$x(t) = \sum_{s=1}^S L_s^f \varphi_s(x(t_0), i_L(t), (t_s, t_{s+1}]) \quad (2.16)$$

при $L_k^u \wedge L_j^i = 0, k \neq j; L_s^f \wedge L_d^f = 0, s \neq d; \bigvee_1^k L_k^i = 0, \bigvee_1^S L_s^f = 1$.

Областю визначення функцій $f_{s1}, f_{s2}, \dots, f_{sn}, \varphi_{s1}, \varphi_{s2}, \dots, \varphi_{sn}, \eta_{s1}, \eta_{s2}, \dots, \eta_{sn} \in$ векторний простір $R_n \times R_m \times T$. Областю значень кожної з цих функцій є нескінченність R . Для класу ЛДС побудована повна аксіоматика [30], доведені теореми існування й одиницності рішень систем логіко-диференціальних рівнянь (ЛДР). Топологія простору існування рішення ЛДР визначає структуру логічного автомата Мура. Таким чином, аксіоматика ЛДС дозволила «вирватись» зі сфери дослідження внутрішніх властивостей автоматів і розв'язувати завдання «зовнішнього» проектування ЛДС (синтезу керованої структури складних об'єктів) апаратом моделювання областей досяжності ЛДС і дискретних переходів на нескінченностях $F\{f_s\} \text{ і } U\{i_k(t)\}$.

У задачах системного проектування технічних систем моделі ЛДС використанні для дослідження агрегатів та підсистем $\sum_i \in \sum$. Кожна з підсистем $\sum_i$ ($i=1, 2, \dots, N$) технічних систем виділена домінуючою $\sum_i$ категоріями якої визначається процес і факт досягнення мети G (наприклад, підсистема керування рухом у просторі для самохідних машин).

Завдання керування логіко-динамічною системою поєднує і математично погоджує два ієрархічно упорядковані і математично різнорідні задачі:

- задача синтезу вхідного впливу $u_{k \in U}$ для локального структурного стану q_{vi} зі стаціонарною функцією f_{vi} (нижній рівень);
- задача повного упорядкування дискретних переходів на кінцевій нескінченності структур $f_s \in F$ (верхній рівень).

Відзначимо, що відомий принцип динамічного програмування Р. Беллмана [28] керування u_h є функція фазового стану ($u_k = K(x)$) виявляється недостатнім у випадку ієрархічних систем логіко-динамічного класу. Цей принцип розширений до слідуючої форми [29, 30]: керування є функцією упорядкування послідовності структурних станів q_v (верхній рівень) і чисельних функцій фазових станів $x(t)$ (нижній рівень). Завдання повного

упорядкування (керування верхнього рівня) звів до синтезу закону функціонування ініціального і кінцевого автомата $A = \{A^u, A^f\}$ як комбінаторної частини системи $\sum \{\sum_i\}$. Вона цінюється апаратом моделювання систем логіко-диференціальних рівнянь. Завдання глобальної оптимізації ЛДС включає дві ієрархічно упорядковані задачі [10]:

- задача оптимального упорядкування кінцевої множини структур системи $F \{f_s\}$ (верхній рівень);
- задача синтезу оптимальних впливів $u_k \in U$ при локальній стаціонарності структури (нижній рівень).

Змісне дослідження моделювання цих задач виключає необхідність повного перебору переходів на множину $F \{f_s\}$. Цілеспрямованість процесів керування в ЛДС, що вводиться в закон функціонування системи $\sum$ упорядкуванням підцілей G_i , конструктивно виражається перетином підобластей існування локальних рішень системи ЛДУ. Ця властивість ЛДС, отримана як наслідок їхнього аксіоматичного визначення, виділяє з усієї нескінченості логічних автоматів ініціальний автомат Мура як комбінаторну частину ЛДС. Це означає, що з усієї припустимої нескінченості шляхів в автоматі $P_{1,N}^{\max} = N!$ для ЛДС це число варіантів обмежене величиною $P_{1,N}^{\max} = P_{1,N-1}^{\max} + (N-2)$, так, для $N=1$ $P_{1,10}^{\max} = 37$ на відміну від $10! = 3628800$. Сьогодні накопичено достатній досвід моделювання ЛДС універсальними засобами (МАТКАД, МАТЛАБ, АПАРАТ інтелект. систем, розмитих множин), спеціальними моделюючими системами в EXSEL.

У розглянутих вище моделях ЛДС уся сукупність структур $\langle f_s, \varphi_s, \eta_s \rangle (s=1,2,\dots, S)$ характеризувалася трійкою відображень $f_s: T \times T \times U \rightarrow X$, $\varphi_s: T \times T \times \Omega \times X \rightarrow X$, $\eta_s: T \times T \times X \rightarrow Y$. В категоріях цих відображень, інваріантних щодо дискретних переходів на множинах $F\{f_s\}$, $\Phi\{\varphi\}$, $\{\eta_s\}$, представлені моделі функціонування ЛДС, засобами яких досліджуються задачі керування в структурній і диференціальній динаміці. У завданнях проектування технічних систем багатоцільового функціонування, крім зазначених моделей,

виникає необхідність у моделях, координації взаємодії ЛДС у складних режимах. Як модель технічних систем із керованим складом ЛДС прийнята дискретна інформаційна мережа. Для математичного опису процесу керування складної системи введені основні операції, що представляють відносини між підсистемами, у всіх можливих логічних законах функціонування.

Модель взаємодії технічних систем визначається складом підсистем $\sum_i (i=1,2,\dots,l)$, топологією мережі й узагальнених станів Q_{vi} підсистем, де $Q_{vi} : x = f_s(x, u_L, t)$, v — номер узагальненого стану підсистеми $\sum_v$ у даному режимі, $v=1, 2, \dots, N$.

У загальному випадку модельована система в цілому буде містити $N*1$ систем диференціальних рівнянь, розв'язок яких програмується парами автоматів $A_i \{A_i^f, A_i^u\}$, дискретною інформаційною мережею взаємодії автоматів.

Операції взаємодії підсистем $\sum_i \in \sum$, що утворюють мережу, наступні:

- кон'юнктивного об'єднання підсистем $\sum_i, \dots, \sum_j$ у групу, що функціонує в груповій динаміці;
- диз'юнктивного об'єднання підсистем $\sum_k, \dots, \sum_j, \sum_l$;
- диз'юнктивного альтернативного об'єднання підсистем $\sum_m, \dots, \sum_n$;
- дискретного переходу групи підсистем до тотожної (не зростаючої,) структури;
- розчленовування (скорочення складу) групи взаємодіючих підсистем $\sum_i, \dots, \sum_j$. У підсистемах $\sum_i$, із всіх узагальнених станів $Q_i \{qv_i\}$, виділяється початковий (стартовий) що це $q(v_0)$ і фінальний стан q_{N_i} , відповідно до прийнятої аксіоматики ініціальних автоматів A_i . Дві і більше підсистеми $\sum_i \in \sum$, можуть функціонувати у взаємодії для досягнення

фінальних станів $q_{Ni}, \dots, q_{Nj}$, утворивши групу підсистем $\{\sum_i, \dots, \sum_j\}$ у цих станах $q_{N\{i, \dots, j\}}$.

У категоріях узагальнених станів представлених вище операцій взаємодії ЛДС мають вигляд:

$$Q_{N\{i, \dots, j\}} = q_{Ni} \wedge \dots \wedge q_{Nj}, Q_{N\{k, \dots, l\}} = q_{Nk} \vee \dots \vee q_{Nl}$$

$$Q_{N\{m, \dots, n\}} = q_{Nm} \vee_a \dots \vee_a q_{Nn}; Q_{v\{1\}} \rightarrow Q_{(v+1)\{I\}}; Q_{v\{1\}} \rightarrow Q_{(v-\lambda)\{I\} \setminus \{i, j\}}, \quad (2.17)$$

де $\{i, j\} \subset \{I\}$, $\{I\} \setminus \{i, j\}$ — доповнення індексної множини $\{I\}$, що визначає повний склад підсистем $\{\sum_i\}$.

Операції взаємодії (2.17) мають функціональну повноту в процесах мережевої динаміки (зростання, сполучення, вибір, нейтральний перехід, розчленування). Цільове керування складною системою складається з координації підсистем з керованою структурою, для кожної з яких реалізується сформульований вище принцип. Для моделювання процесів функціонування технічних систем достатньо запропонованого апарата диференціальної, структурної і мережевої динаміки, яка допускає коректне математичне «вкладення» цих моделей в ієрархічну структуру. Вкладення диференціальної динаміки в структуру викладено вище. Воно базується на побудованій аксіоматиці, ієрархічному об'єднанні двох фундаментальних моделей — динамічної диференціальної системи і логічного автомата.

Для вкладення систем логіко-диференціальних рівнянь у мережеві структури необхідно параметризувати операції взаємодії (2.17) по загальному незалежному аргументу $t \in T$, що входить в усі відображення: f_s, φ_s, η_s . Параметризація означає слідує: кожна з операцій (2.17) установлює логічні стосунки для категорії узагальнених станів ЛДС — $q_{Na}, a \in I$, змістом яких є процес моделювання локально стаціонарного рівняння (2.16). У найпростішому випадку модельована операція кон'юнктивного об'єднання підсистем $\sum_i, \dots, \sum_j$ у фінальних станах $q_{Ni}, \dots, q_{Nj}$ може бути виконана в заданий момент часу $t^* \in T$, тобто при значеннях $x_i(t^*), \dots, x_j(t^*)$ динамічних станів. Логічні умови $L(\Lambda)$ утворення групи взаємодіючих підсистем $\sum_i, \dots,$

$\sum_j$ у цьому випадку будуть виражені двозначним одномісним однорідним предикатом $L \wedge = p \wedge (t \geq t^*) = 1$. У загальному випадку логічні умови виконання операцій (2.17) є двозначними багатомісними неоднорідними предикатами, у правій частині яких крім часу $t \in T$ вводяться умови досягнення кожної з підсистем $\sum_i, \dots, \sum_j$ відповідних цільових підмножин $x_i(t) \in S_{0i}$, де $S_{0i} \in (T_1, T_2) \times X \times Y$, і інші незалежні події $\lambda \in \Lambda$. У загальному виді для всіх операцій (2.17) предикати побудовані як відображення:

$$p: T \times (T_1, T_2) \times X \times Y \times \Lambda \rightarrow \{0, 1\}, \quad (2.18)$$

звідки впливає асинхронний принцип реалізації операцій мережевої динаміки. Фізично цей принцип зводиться до появи ефекту чекання у взаємодіючих підсистемах. Одна із задач оптимізації технічних систем складається в упорядкований пусковий режим ЛДС з метою мінімізації загального часу очікування підсистем:

$$\tau^{opt} = \min(\tau_v^{\max} - \sum_v \tau_{vj}) \quad (2.19)$$

де $\tau_v^{\max}$ — час досягнення цільової підмножини S_M^v найбільше підсистемою $\sum_v$. Взагалі завдання оптимізації технічних систем відноситься до багатокритеріальних завдань, у розв'язанні яких значне місце займає моделювання [33, 34].

Представимо математичну модель функціонування технічних систем у цілому категоріями розглянутих вище підсистем (ЛДС) і операцій їхньої взаємодії (2.17). Математична модель динамічної операції складається з логічної схеми (мережі) логіко-диференціальних рівнянь, процес рішення яких формується системою предикат $P \{ p, p, p, p, p \}$ на множині операцій взаємодії (2.17). Логічна схема операції будується на основі технологічної схеми взаємодії всіх підсистем об'єкта. $\sum_i \in \sum$, система, предикат якої математично параметризує операції взаємодії в часі $t \in T$. Таким чином, логічна схема є деревоподібним графом з шістьма видами вершин. Висячими вершинами є структурні стани ЛДС q_{vi} , $v \in N$ ($i \in I$), кожному з яких

відповідає трійка елементів $\{f, \varphi, \eta\}$. Позначимо цю множину через Qq . Іншим п'ятьом видам вершин відповідають множини $Q^\wedge, Q^\vee, Q^{va}, Q^=, Q'$.

Фрагмент такої моделі представлений на рис.2.5 (для простоти тут приводиться тільки «зростаюча» частина операцій, які не утримують операцій розчленовування). Розроблено апарат і побудовані алгоритми аналізу динамічних операцій, що дозволяють досліджувати «напругу» у виконанні варіантів операцій по екстремальних властивостях шляхів і маршрутів на графі і виділити різні варіанти операцій, що містяться в заданій логічній схемі, побудувати функціонали якості для оцінки варіантів після досягнення цілей G_m

Побудова системних моделей технічних систем ставить своєю метою введення в завдання системних досліджень визначені інваріанти, що дозволяють досліджувати властивості об'єкта в різних аспектах (функціональному, технічному, ресурсному, надійному, ергатичному). Найціннішими властивостями системних моделей є ті, що дозволяють шляхом формальних визначень і трансформацій одержувати з загальної моделі $M^{\text{заг.}}$ її «аспектні» модифікації $M_{\hat{o}}^{\hat{ia}}$, $M_{\hat{o}\hat{o}\hat{e}}^{\hat{ia}}$, $M_{\hat{ia}\hat{e}}^{\hat{ia}}$, $M_{\hat{da}\hat{n}}^{\hat{ia}}$, $M^{\text{об}}_{\text{эрг}}$. Далі покажемо, що в основу системного моделювання технічних систем можуть бути покладені пакети динамічних операцій, з яких можна одержати ряд окремих моделей при збереженні логічних зв'язків між ними. При побудові пакета динамічних операцій введемо деякі довизначення. Будемо вважати, що вся різноманітність функціонування багатоцільових технічних систем визначено кінцевою сукупністю цілей $G_1, G_2, \dots, G_m, \dots, G_M$. Кожній меті $G_m \in G_M$ ставиться у відповідність визначена динамічна операція $D^{\circ}_{m \in D^{\circ}}$. У кожній з операцій D°_m виділена домінуюча підсистема $\sum_i^{pr}$, параметрами якої визначається рух до заданої мети G_m . Процес досягнення мети G_m оцінюється критерієм J_i^{pr} , що конструюється в категоріях функціонування підсистеми $\sum_i^{pr}$. Кожна з операцій вимагає в загальному випадку нерівноцінної «напруги» від усіх підсистем $\sum_i$, унаслідок чого утворюється

«резерв» у системі $\sum\{\sum_i\}$, що є «полем» для оптимізації за іншими специфічними для даних підсистем $\sum^*$ критеріями J . Таким чином, з'являється можливість одержати опорне рішення синтезу закону функціонування для кожної з операцій D_m^0 і упорядкувати за домінуючим J_i^{pr} і сукупності інших критеріїв J_j^* альтернативні варіанти операції D_m^0 .

По топологічних відносинах множин $\{Q^\wedge, Q^\equiv\}$ і $\{Q^\vee, Q^{\vee a}\}$ у логічній схемі операції визначається повна кількість варіантів операції $W = \Pi W_{(el)i} \Pi L_{rt}$, де $W_{(el)i} = (L_{nl}^\vee - 1) + (L_{mk}^\vee - 1) + \dots + L_{ps}^\vee$ — число варіантів, породжених «вкладенням» в альтернативні вершини $Q_{\vee nl}, Q_{\vee mk}, \dots, Q_{\vee ps}$ нище розташованих вершин цього типу уздовж q_{Ni} -го маршруту V_i^{ps} , N^m (що починається в i -й висячій вершині q_{Ni} і закінчується в кореневій вершині Q_N^m); $L_{rt}^\vee = 1, 2, \dots, L_{rt}^\vee$ — число дуг, що заходять у вершину, не зв'язане з вкладенням з іншими в альтернативні вершини i -го маршруту дерева D . Кожному з варіантів операції відповідає свій склад підсистем $\sum\{\sum_i^p\}$.

Використовуючи представлені властивості математичної моделі динамічної операції D^0 , можемо визначити основні частини збільшеного алгоритму оптимізації системи $\sum\{\sum_i\}$ за критерієм швидкодії.

Крок 1. Виділення усіх варіантів складу системи $\sum^p\{\sum_i\}$, $p = 1, 2, \dots, P$, реалізує задану операцію після досягненню цільової множини S_M .

Крок 2. Визначення маршруту V_ρ^{extr} з екстремальною властивістю (мінімальною вагою $J_{V,N}^{\min}$) для кожного з варіантів $\sum^p$ системи.

Крок 3. Визначення сумарного часу чекання $C_{nl}(\tau)$ у кожній з вершин Q_{nl} і загального часу чекання $C_p = \sum_{nl \in N} C_{nl}(\tau)$ усієї підмножини вершин Q_p у варіанті m -й операції D_{mp}^0 .

Крок 4. Визначення для кожного з варіантів $\sum^p$ системи резерву часу τ_{ip} кожної з взаємодіючих підсистем $\sum_i \in \sum^p$, що є стартовим структурним станом висячої вершини q_{Ni} дерева D , який не належить маршруту V_ρ^{extr} . 3

врахуванням метричних, логічних і комбінаторних властивостей моделі динамічної операції представляється можливим формулювати і вирішувати завдання оптимізації функціонального аспекту (швидкодія, точність досягнення мети, витрата енергії на виконання операції).

У завданнях системного проектування технічних систем на сьогодні розвивається, на жаль, тільки один підхід, що базується на формалізації процесу аналізу і вибору найкращого варіанта системи. У нашій інтерпретації це означає розгляд тільки наборів $\sum^p \{\sum_i\}$, представлених нескінченними вершинами, перенумерованих індексними нескінченностями $\{i\}$ і $\{p\}$. Відсутність моделей динамічних операцій D^0 , методів їхнього аналізу замінюється різними оцінками наборів $\sum^p \{\sum_i\}$ (вартісні, масо-габаритні, міцні, ресурсоемнісні й інші характеристики). Оптимізація вибору ґрунтується на різних процедурах експериментальних оцінок, штрафних функцій. Варіант об'єкта проектування вибирається як набір компонентів $\sum_i, i \in I$ безвідносно до сукупності цілей $G\{G_m\}$ і властивостей процесів досягнення цих цілей, тобто властивостей динамічних операцій D_m^0 . Визначення вихідних даних за цими оцінками і їхньою обробкою для процедур вибору варіантів вимагає ресурсів, що перевищують, як правило, витрати на системне моделювання.

Розглянемо можливості аналізу пакетів динамічних операцій у задачах системного проектування. Пакет операцій $P\{D_m^0\}$ є альтернативною структурою у вигляді частково упорядкованої послідовності динамічних операцій $D_m^0 \in D^0$, виконання кожної з яких відповідає досягненню апріорі заданої мети G_m . У цілому в моделі ТЕХНІЧНИХ СИСТЕМ представлено кінцевий склад фізичних підсистем $\sum \{\sum_i\}$, функціонування яких описується трьома ієрархічними вкладеними альтернативними структурами: різними шляхами переходів в автоматах $A \{A'', A'\}$, неєдиними варіантами логічних схем в операції D_m^0 , різним чином упорядкованим пакетом операції P . Альтернативність у трьох вкладених структурах ієрархічного закону

функціонування технічних систем утворить «поле» складної структури для оптимізації розміщеного об'єктом узагальненого ресурсу.

Технічні системи як об'єкт експлуатації має кінцевий узагальнений ресурс R , що складається з компонентів ресурсів усіх підсистем $r_i \in R$, причому кожна фізично однорідна підсистема володіє декількома видами ресурсів r_{is} , $s=1,2,\dots,S$, як, наприклад, моноресурси, міцнісні, енергетичні, надійнісні ресурси. Задача програмованої експлуатації (ПЕ) технічних систем полягає в упорядкуванні процесів функціонування об'єкта після досягнення заданих цілей $G_m \in G$, процесів технічного обслуговування об'єкта і його підсистем та їх ремонту, оптимальних у сенсі забезпечення виконання об'єктом його прямих функцій. В аспекті ПЕ може знаходитися в трьох макростанах, зумовлених відношенням до використання технічних систем за прямим призначенням:

- S_ϕ —функціонування технічних систем після досягнення цілей $G_m \in G$ без реалізації процесів технічного обслуговування і ремонту (ТОР) у цей період;
- S_p — здійснення ремонту технічних систем системної ТОР при повному відключенні об'єкта від функціонування після досягнення заданих цілей;
- $S_{\phi m}$ — функціонування технічних систем після досягнення заданих цілей G_m з одночасною реалізацією процесів ТОР.

Процес функціонування технічних систем характеризується витратою кінцевого ресурсу $R \{r_{is}\}$, утвореного в об'єкті в процесі його побудови і підготовки до виконання операцій після досягнення цілей.

Вихідні змінні підсистеми $\sum_i$ з рівняння виходу використовуються для утворення «ресурсних» змінних $z(t) = \rho(V_I)$. З огляду на стаціонарність залежності (2.2) для v -го структурного стану q_{vi} одержимо значення величини витрачаного s -го ресурсу i -й підсистемою:

$$Z_{is} = \int_{v_i}^{v_k} \rho_s[\phi_s(t)] dt \quad (2.20)$$

де t_{vh}, t_{vk} — відповідно параметризовані в часі початок і кінець переналадки $\sum_i$; у стані q_{gj} .

Вважаючи скінченою величину $r_{is}^{\sup}$ заданої (стосовно заводських паспортних даних виготовленої підсистеми $\sum_i$), одержимо збиткову функцію витрати s -го ресурсу

$$r_{is}(t) = r_{is}^{\sup} - \int_{t \in T^0} \rho_s[\phi_s(t)] dt \quad (2.21)$$

У структурі пакета $P \{D_m^0\}$ вкладені послідовності структурних станів $q_{vi}(v_i \in N, i=1,2,\dots,I)$ усього складу підсистем $\sum_i \in \sum$, - взаємодіючих у відповідності зі структурою динамічних операцій $D_m^0 \in D$, що дозволяє з використанням величин і функцій побудувати категоріями обчислювальних функцій відношення між структурою мети технічних систем $G\{G_m\}_1^M$, структурою витрачених ресурсів $R\{r_{is}(t)\}$ і структурою процесу досягнення мети $P\{D_m^0\}_1^M$. Враховуючи те, що в макростані $S_{\phi m}$ технічних систем одночасно з $r_{is} \in R$ відбувається відновлення ресурсів $\hat{r}_{is}(t)$ ($t \in T$), структура динаміки ресурсів буде складатися із двох множин функцій $\{r_{is}(t)\}, \{\hat{r}_{is}(t)\}$.

В системному аналізі технічних систем характеристиками є розподілення операцій $D_m^0, m=1,2,\dots,M$, які відповідають пакетам мети $P^M\{G_m\}$, вагомість цих операцій в функціонуванні системи в цілому на заданому періоді програмованої експлуатації.

Моделювання технічних систем включає наступні системні задачі:

- 1) дослідження чутливих критеріїв $J^{(pr)}$, який домінує в даній операції $D_m^0 \in D^0$, до змін складу $\sum\{\sum_i\}$, до структури логічних схем операції D_m^0 ;
- 2) виділення в кожній із операцій D_m^0 сукупності підсистем $\sum^d\{\sum_i\}$ з напруженими по критерію $J^{(pr)}$ режимами функціонування;

3) визначення в кожному із варіантів пакету $P\{D_m^0\}$ сукупності підсистем $\sum_i \{ \sum_i \}$ з «резервом» по приросту критерію $J_j^{(pr)}$;

4) рішення названих трьох задач є наслідком для сформованих груп критеріїв $j^b \{J_j\}$, $b=1,2,\dots,B$ впорядкованих по їх значенню;

5) аналіз властивостей функцій $R\{r_{is}(t)\}$ на структурах різних пакетів мети $P^U \{G_m\}$ і варіантів пакетів операцій $P^0 \{D_m^0\}$ з метою оптимізації ресурсів по критерію $\min \sum_i \sum_s r_{is}(t)$.

Аналіз характеристик повного пакету операцій P^0 вміщує всі аспекти задач розподілу і оптимізації ресурсів, які виникають як одна системна задача системного проектування і програмованої експлуатації технічних систем. В теоретичних посиланнях багатокритеріальної оптимізації доведено неможливість суворого порівняння будь-якої пари планів (пакетів операцій) за векторним критерієм $J(J_j)$, так названі ефективні плани не відрізняються за структурними властивостями і характеристиками. Відсутність в методах багатокритеріальної оптимізації суворих правил вибору при виборі оптимального варіанту плану повино бути здійснено моделюванням в дослідженнях найбільш структурних властивостях самих планів.

В завданнях системного проектування технічних систем єдиним засобом, який зв'язує мету $G\{G_m\}$ з ресурсами $R\{r(t), \hat{r}(t)\}$, є модель ієрархічної структури процесу функціонування технічних систем: пакетом операцій, операція, структура підсистеми, диференційна динаміка підсистем $\sum_i \in \sum$. Ресурсна динаміка технічних систем визначається програмуванням процесу $R\{r(t), \hat{r}(t)\}$, який забезпечує збереження рівня ресурсів $R > R^{\inf}$ по всій сукупності підсистем $\sum_i \in \sum$, при реалізації програмованої послідовності пакетів мети $P^U \{G_m\}$. Це завдання відноситься до нетрадиційних завдань керування записами із випадковими обуреннями і системою обмежень

$$r_{is}^{\sup} \geq r_{is}(t) \geq r_{is}^{\inf}, \quad \frac{dr_{is}}{dt} \leq c_{is}^{\wedge},$$

де $r_{is}^{\sup}$, $r_{is}^{\wedge \sup}$ і $r_{is}^{\inf}$ – верхній і нижній рівень s – го ресурсу i – й підсистеми, $c_{is}^{\wedge}$ – граничний темп відновлення ресурсу r_{is} .

В стаціонарних режимах використовуються середні швидкості витрат ресурсів $W_{is} = \frac{r_{is}}{\tau}$ і їх відновлення $\hat{W}_{is} = \frac{r_{is}}{\tau}$. Поточне планування витрат ресурсів $R\{r_{is}\}$ на період τ йде від величини залишкового ресурсу $r_{is}^{oct} \leq r_{is}^{\sup}$ по формулі:

$$r_{is}^{oct} - \int_{t \in T_p} \rho_s[\phi_s(t)] dt$$

$$r_{is}^n = W_{is} t_n = \frac{r_{is}}{\tau} t_n = \frac{r_{is}^{oct} - \int_{t \in T_p} \rho_s[\phi_s(t)] dt}{\tau} t_n$$

у межах $r_{is}^{oct} \geq W_{is} t_n \geq r_{is}^{\inf}$.

При заданій величині $W_{is} = \text{const}$ обмеження мають вигляд:

$$t_n \leq (r_{is}^{oct} - r_{is}^{\inf}) \frac{1}{W_{is}}.$$

при заданій величині $t_n = \text{const}$ обмеження накладаються на W_{is} , у вигляді

$$W_{is} \leq (r_{is}^{oct} - r_{is}^{\inf}) \frac{1}{t_n}$$

План функціонування технічних систем у вигляді $P^{\mathcal{U}}\{G_m\}$ має дві стратегії реалізації:

- 1) керування в категоріях функціональної динаміки;
- 2) розподіл ресурсів у категоріях ресурсної динаміки.

Узгодження двох стратифікованих процесів відбувається шляхом математичного моделювання. У механізм узгодження включаються обмеження у вигляді $\frac{dr_{is}}{dt} \leq c_{is}$, що представляють темп витрати ресурсів у заданій послідовності операцій $P_l^0\{D_m^0\}$. Задача моделювання набуває, таким чином, ітераційного характеру.

У загальному випадку разом з детермінованою постановкою завдання оптимального розподілу ресурсів $R\{r_{is}\}$ для досягнення заданої сукупності цілей $G_1, G_2, \dots, G_k$ можна перейти до більш загальної, ймовірної постановки того ж завдання. У функціонуванні технічних систем цілі $G_m \in G$ задаються в цілому випадковим чином, маючи вже закономірності, представлені стохастичними характеристиками. Вибір підсистем $\sum_i$ і їх груп $\sum_{\wedge_{\{i,j\}}}$ для участі в операції D_n^0 також є випадковим, так само як вибір операцій D_m^0 і їх груп $D_{\wedge_{\{m,n\}}}^0$ у пакеті $P^0\{D_m^0\}$

Опис вибору елементарних подій, що відбуваються в технічних системах на нескінченостях $\sum\{\sum_i\}$ і $D^0\{D_m^0\}$ можна одержати з відповідною «вагою» — імовірністю. Це значить, що ми можемо задати сценарій поведінки системи в ресурсній динаміці. За сценарієм пізніше можна скласти програми для ЕОМ і імітувати з їх допомогою процеси функціонування технічних систем.

Представлені завдання оптимізації ресурсів технічних систем може за допомогою описаних моделей оцінюватись в трьох постановках [35]:

- 1) при повній визначеності, коли вибір структур операцій D_m^0 і пакета P^0 приводить до однозначного результату;
- 2) при ризику, коли вибір структур D_m^0 і P^0 здійснюється з відповідних нескінченостей, кожна з яких має певну імовірність появи;
- 3) при невизначеності, коли вибір структур D_m^0 і P^0 здійснюється з відповідних нескінченостей, імовірності появи структур не відомі чи не мають змісту.

Апарат дослідження представлених моделей технічних систем дозволяє побудувати вирішальні процедури з оптимізації функціонування технічних систем для перших двох постановок і створити інструментарій для постановки математичного експерименту для третьої постановки.

Функціонування багатьох сучасних технічних комплексів і складних об'єктів включає цілі сукупності станів, режимів і динамічних

процесів. Завдання проектування систем керування подібними об'єктами перетворилася в наукову проблему, розв'язання якої виходить за рамки традиційної теорії автоматичного керування. Аксиоматика класичної теорії керування будувалася для моделей зі стаціонарною структурою. У складних системах структура об'єкта керування і склад його підсистем підлягають керуванню і координації в процесі цілеспрямованого функціонування. Використовувати апарат дослідження систем зі стаціонарною структурою для завдань проектування складних систем (з керованою структурою) не можливе, тому що саме поняття керування не може бути представлено категоріями традиційних моделей.

У зв'язку з цим виникла задача розробки нових принципів керування й адекватних їм математичних моделей систем з керованою структурою і складом підсистем. Ці розробки виконувалися з певною орієнтацією на системні методи проектування. Головною вимогою такої орієнтації є побудова аксиоматики нового класу моделей, що відповідала б досить високим стандартам суворості. Останні визначаються необхідністю застосування ЕОМ у проектуванні складних систем і неминучістю постановки завдання багатокритеріальної оптимізації проектних рішень.

Сучасні технічні комплекси вийшли далеко за рамки традиційних об'єктів, досліджуваних у теорії автоматичного регулювання. Крім «емоційних» аспектів проблеми складності, в сучасній теорії систем існують конкретні задачі проектування, побудови та експлуатації складних технічних комплексів.

Найбільш глибоким і важким з цих завдань є завдання системного проектування, розв'язання якого вже повинно містити принципову технологію побудови складного об'єкта і принципи програмованої експлуатації його згідно сучасних вимог багатокритеріальної оптимізації.

Жодна з традиційних теорій синтезу систем, технології побудови та експлуатації технічних об'єктів не включала у свою проблематику завдань системного пов'язання «своїх» рішень з рішеннями «сусідніх» етапів. Уперше

проблема системного підходу була охоплена з точки зору кібернетики, коли був сформульований принцип зовнішнього доповнення в керуванні [36], що мав свого абстрагованого «двійника» у теорії висновку, відомого як принцип Геделя [36]. Тоді стала зрозумілою безперспективність «відновлення» традиційної теорії автоматичного керування, слідом за чим прийшла необхідність створення зовсім нової теорії систем з її прикладною частиною — системотехнікою.

До такого несподіваного фіналу привели дослідників стандарти суворості, що підсилюються у проектуванні, які диктує «законодавиця мод» у технічній кібернетиці — теорія багатокритеріальної оптимізації. Цих законів не знали архітектори піраміди Хеопса і римського водопроводу, але вони стали основними аксіомами сучасних дослідників — системотехніків, що повинні вирішувати в конкретних проектах проблему складності при обмеженнях на ресурси й в умовах «психологічного тиску» з боку конкурентних проектів.

Традиційні теорії технічного напрямку (теорія машин, теоретична електроніка, теорія регулювання, теорія автоматів і ін.) включали у свою проблематику вивчення внутрішніх властивостей досліджуваних об'єктів. Завдяки цьому цим теоріям вдалося досягти певної досконалості. Однак жодна з названих теорій не включала у свою проблематику (і не була побудована аксіоматика) завдань архітектурного плану. Для теорії автоматичного регулювання — це, наприклад, синтез оптимальних структур САР, для теорії автоматів — синтез законів оптимального функціонування і т.д. Прикладні напрямки цих теорій є великим переліком дуже жорстких (часом «нещадних») вимог до апіорі заданих даних щодо архітектури об'єктів — зовнішнім доповненням.

Побудова всіх «стикових» архітектурних проектних рішень для системи фізично різномірних об'єктів і є основним завданням системного проектування. Для більшої точності, можна визначити проблематику теорії системного проектування як створення методів синтезу (проектування)

законів функціонування складних систем, методів побудови таких об'єктів і програми їх експлуатації. Мовою згаданих сучасних стандартів суворості ця проблема трактується як оптимізація життєвих циклів складних систем. Одним з домінуючих завдань прикладної теорії складних систем є завдання побудови процесів керування структурою складних об'єктів. Її розв'язання є найнеобхіднішим зовнішнім доповненням проблематики добре аксіоматизованої математичної теорії систем [28], що створила апарат дослідження внутрішніх властивостей динамічних диференціальних і кінцевих динамічних систем (керованості, спостережливості й ін.).

Теорія систем з керованою структурою охоплює цілий клас об'єктів, що функціонують у режимах взаємодії, координації і цілеспрямованої зміни структурних станів. Моделі процесів керування в таких системах є ефективним засобом для того, щоб формально ввести в завдання проектування категорії цілей функціонування складних об'єктів. У зв'язку з цим при побудові архітектури складних систем ми вже не можемо задовольнятися відомим принципом (розпорядженням Беллмана): «Керування u є функція фазового стану $x(t)$. Процес керування, побудований на цьому принципі, може виступати лише як локальний при стаціонарності структури на обмеженому відрізку часу.

У силу існування складних обмежень і неоднозначних нелінійностей у математичній моделі системи її функціонування після досягнення багатьох цілей вимагає найбільш складного способу керування — цілеспрямованої зміни структури окремих підсистем і формування їхньої взаємодії. Оскільки моделлю дискретних послідовностей для керування структурою і складом звичайно приймається логічна мережа, наш клас систем відноситься до «гібридної» системи з логіко-динамічним принципом функціонування. У це визначення ми вкладаємо цілком визначене поняття ієрархії рівнів складної системи, верхній з яких розв'язує завдання логічного керування структурою системи, нижній — керування безпосередньою динамікою підсистем у векторних просторах. Керування в класі таких систем принципово

відрізняється від однорівневих систем, хоча вони й мають велику рівномірність, насамперед тому, що завдання керування не може бути розв'язане для ієрархічної системи в цілому на основі принципу [28]: керування є функція фазового стану. Отже, для виділеного класу складних систем керування необхідне формулювання нового принципу, адекватного завдання проектування і його експериментальна перевірка.

Ідея ієрархії в системах керування полягає, зокрема, у тому, що вимірна диференціальна динаміка (хоча і великої мірності) «вкладається» як елементарний підпроцес у дискретну сукупність якісних (структурних) станів системи в цілому. Завдання керування такими підпроцесами на верхньому рівні є завданням оптимального упорядкування зміни узагальнених (структурних) станів системи. Наступним рівнем ієрархії в складній системі є керування складом підсистем що взаємодіють. Моделлю третього рівня є зростаюча мережа, процес росту й спадання який є формуванням логічної схеми даної операції для досягнення заданої мети керування в системі. Розгляд багатьох практичних прикладів в системах такого класу підтверджує природний характер такої ієрархії керування. Конструктивність ієрархічної структури цього класу дає можливість досить повно сформулювати задачу оптимізації керування. У законах функціонування складних ієрархічних систем виникає нове («гібридне») поняття взаємозв'язку, відмінне від звичайного поняття зворотного зв'язку. Розкриття цього поняття формалізованою мовою сучасної теорії керування і є побудовою аксіоматичних визначень у виділеному класі систем [37].

Прикладами таких систем можуть бути сучасні енергетичні комплекси, складні самохідні машини, системи багатоцільового функціонування типу літальних апаратів, суден, складні машинно-інформаційні системи й ін.

Динамічні диференціальні системи з керованою структурою можуть бути представлені сукупністю (кінцевою нескінченністю) систем диференціальних рівнянь, що моделюють окремі режими:

$$\dot{\bar{x}} = f_s(\bar{x}, \bar{u}, t) \text{ — стану,} \quad (2.22)$$

$$\bar{y} = q_s(\bar{x}, \bar{u}, t) \text{ — виходу,} \quad (2.23)$$

де $s = 1, 2, \dots, S$; $F\{f_s\}$ — неупорядкована сукупність структур системи; $S\{s\}$ — нескінченність порядкових індексів.

Кожна з векторних функцій $f_s(\bar{u}, \bar{x}, t)$ представляє локальну динаміку системи в s -му режимі, властивості таких режимів відрізняються між собою числовими характеристиками параметрів і траєкторій. Наприклад, динаміка польоту літального апарату в областях дозвукових і надзвукових швидкостей представляє дискретну послідовність двох характерних режимів системи.

Дискретні послідовності на нескінченностях структур $F\{f_s\}$ системи і впливів $U\{u_k(t)\}$ у (2.22), (2.23) зручно визначити гібридними функціями [38, 39] наступного вигляду (по числу керувань) - входів (впливів) $\bar{u}(t) = L_k^u \bar{u}(t)$, $k=1, 2, \dots, k$, $u_L(t) = \sum_{k \in K} L_k^u u_k(t)$ структур динамічної системи:

$$L_k^u \wedge L_j^u = 0, k \neq j; \quad \bigvee_{k \in K} L_k^u = 1,$$

$$f_L(\bar{x}, \bar{u}, t) = \sum_{s \in S} L_s^f f_s(L_s^x \bar{x}, \bar{u}_L, t) \quad (2.24)$$

при

$$L_s^f \wedge L_d^j = 0, L_s^x \wedge L_d^x = 0, s \neq d$$

$$\bigvee_{s \in S} L_s^f = 1, \quad \bigvee_{s \in S} L_s^x = 1.$$

Логічні перемінні L_k^u , L_s^f , L_s^x є в загальному випадку значеннями двозначних неоднорідних багатомісних предикатів і виражають умови переходів від моделі одного режиму f_v до іншого f_{v+1} . Технічною реалізацією предикатних функцій як умов дискретних переходів можуть бути різного роду датчики, сигналізатори і перетворювачі з двозначним виходом. Аналогічними реалізаціями можна вважати дискретну зміну параметрів і характеристик об'єкта і керуючого пристрою в системі. Класичним прикладом керування у формі (2.24) є реостатний пуск за допомогою

логічного керуючого пристрою електродвигуна постійного струму. Інші приклади таких систем наведені в роботах [40, 41].

Синтез закону функціонування багатокрокової ЛДС можна розглядати як рішення розглянутого завдання керування в кожному конкретному випадку. Завдання впорядкування структурних станів $\langle f_{vk}, \varphi_{vk}, \eta_{vk} \rangle$ систем $\sum$ (верхній рівень) можна досить повно представити апаратом логіко-диференціальних рівнянь:

$$\begin{aligned}\bar{x} &= \sum_{v=1}^N a_v^f f_v(\beta_v^x x(t), \beta_v^u u(t)), \\ \bar{y} &= \sum_{v=1}^N a_v^\eta \eta_v(\beta_v^x x(t)),\end{aligned}\quad (2.25)$$

отриманих у такий спосіб. Нехай система $\sum\{\sum_v\}$ описується в кожному v -му структурному стані векторними диференціальними рівняннями:

$$\begin{aligned}\bar{x} &= f_v(x(t), u(t), t) \text{ — стану,} \\ \bar{y} &= \eta_v(x(t), t) \text{ — виходу,}\end{aligned}\quad (2.26)$$

рішенням першого з яких є функція

$$x(t) = \varphi_v(\bar{x}(t), \bar{u}(t), t)$$

Для опису порядку зміни структурних станів у системі $\sum\{\sum_v\}$ використовуємо автомат Мура, зумовлений характеристичними функціями [42, 43]:

$A_v = \lambda(a_{v-1}, \omega_v)$ — перехідною, $\beta = \delta(a_v)$ — вихідною

і трьома кінцевими множинами $A = \{a\}$ — станів; $\Omega = \{\omega\}$ — входів; $B = \{\beta\}$ — виходів.

Входами такого автомата A^f є значення предикатних функцій $P(\bar{x}, \bar{u}, q, v, \beta, \tau)$, так що в загальному випадку автомат у ЛДС буде функціонувати за асинхронним принципом. Здійснюючу функцію f_v v -го

стану як першу частину керування (2.26) представимо у виді гібридної функції [38]

$$\dot{\bar{x}} = a_v^f f_v(\bar{x}(t), u(t), t),$$

доповнивши таке рівняння умовами одиничності $a_v \wedge a_\gamma = 0, v \neq \gamma$
 $\bigvee_{v=1}^N a_v = 1$ Аналогічно побудуємо рівняння виходу системи $\sum_v$

$$\bar{y}(t) = a_v^\eta \eta_v(\bar{x}(t), t)$$

за тих самих умов одиничності і повноти. Для всієї сукупності структурних станів системи $\sum \{\sum_v\}$ динаміку можна представити з тими ж умовами одиничності і повноти системою логіко-диференціальних рівнянь (2.25), у яких виходи $\beta_v(\cdot)$ автоматів утворюють з векторами входів $u(t)$ і станів $\bar{x}(t)$ гібридні функції. Оскільки в завданні керування ЛДС початковий структурний стан $\langle f_1, \varphi_1, \eta_1 \rangle$ завжди визначений, у таких системах автомати Мура повинні бути ініціальними. Тоді припустиме вхідне слово $\eta = (\omega_{\xi 1}, \omega_{\xi 2}, \dots, \omega_{\xi k})$ автомата A^f одним способом визначає один із шляхів дискретних переходів $l_{1,N}$ з $\sum_1 \hat{a} \sum_N$, упорядковуючи тим самим суми $\sum_{v=1}^N$ в обчислювальній схемі (2.25) функціонування ЛДС. Кожному автоматному слову η^f відповідає функціонал J_m^l , що дозволяє оцінити якість керування ЛДС по шляху $l_{1,N}$ як упорядкованої послідовності станів $\langle f_v, \varphi_v, \eta_v \rangle$. В ієрархічній структурі ЛДС автоматні моделі A^l використані нами для упорядкування дискретних переходів. Тим самим функції верхнього рівня керування в ЛДС відповідно до прийнятого принципу (крок 2) можна здійснити ініціальним автоматом Мура.

Побудований однозначний зв'язок між множиною припустимих слів $H\{\eta^f\}$ автомата A^f і множиною оцінок якості керування $J_M\{J_m^l\}$ ЛДС дозволяє пов'язати завдання оптимізації багатокрокової ЛДС з задачами синтезу законів функціонування ініціальних автоматів Мура в рамках викладеного

вище загальної задачі керування багатокрокової ЛДС. Як відомо, у теорії автоматів подібні задачі досліджувалися відносно проблеми синтезу законів керування [28]; у теорії автоматичного керування робляться лише перші спроби використовувати кінцеві автомати як сучасні засоби керування [44]. Відзначимо один дуже цікавий наслідок, що випливає з розглянутої задачі. Обмежена досяжність цільової множини, багатоцільове призначення системи і складний характер обмежень вимагали переходу до систем з нестационарною структурою в задачі керування. Нестационарність пізніше була використана для формування координації як внутрішньої властивості складної ЛДС у задачі керування. Побудувавши області визначення відображення предиката $P, T_{\tau} \times T_{\Sigma} \times T_{\psi} \times T_{\beta} \rightarrow \{0,1\}$ що є логічною умовою дискретної зміни структур $\langle f_{vk}, \varphi_{vk}, \eta_{vk} \rangle$ з відповідною інтерпретацією, отримана можливість синтезу й оптимізації ієрархічної системи з керованою структурою. У загальному випадку для закону функціонування ЛДС характерна властивість невизначеності структури, яка використана для можливості зміни цілей керування. Її можна виключити з закону функціонування ЛДС, замінивши зв'язний автомат A^f [28] автоматом з єдиним припустимим вхідним словом η^f , що еквівалентна програмному перемикаючому пристрою з єдиною послідовністю вихідних символів [30, 45]. Ця послідовність визначає суть єдиної мети керування. У цьому тривіальному для ЛДС випадку оптимальність системи $\sum$ точно еквівалентна простій сумі оцінок $\sum J_v$, тому автоматично відпадає необхідність у координації [46] і побудові принципу ієрархічного керування (крок 2).

Клас динамічних систем з керованим складом може бути представлено у такий спосіб. Введемо в розгляд узагальнений стан Q_{vi} підсистеми $\sum_i$, у формі v -го векторного диференціального рівняння

$$Q_{vi}: \dot{\bar{x}} = f_s(\bar{x}, \bar{u}_L, t), \quad (2.27)$$

поклавши для даного стану значення логічних перемінних:

$$L_s^f = L_s^x = 1, \quad L_d^f = L_d^x = 0, \quad s \neq d, \quad s, d \in S$$

де v позначає номер узагальненого стану підсистеми в даному режимі.

Оскільки в такій системі $\sum^v$ склад взаємодіючих підсистем $\sum_i$ є перемінним і до того ж повинен бути керованим, для опису системи в цілому $\sum^v\{\sum_i\}$ нам потрібна $v \times i$ система диференціальних рівнянь вигляду (2.26). Тоді вся система взаємодіючих підсистем $\sum^v\{\sum_i\}$ може бути представлена дискретними переходами на кінцевій нескінченності узагальнених станів усієї системи $\sum^v::$

$$Q_\mu^v[i]: \dot{\bar{X}} = F_r(\bar{X}, \bar{U}, t),$$

де μ , — порядковий номер стану з нескінченності M , що позначає систему $\sum^v$ з незмінним у даному режимі складом. Індекс $\{I\}$ означає склад взаємодіючих в μ -му загальному стані $Q_{\mu\{I\}}^v$ підсистем $\sum_i, i \in I$. Прикладом систем з керованим складом є сучасний літальний апарат у режимах: стоянка, зліт, політ, посадка; космічний комплекс у груповому польоті, розстикуванні, стикуванні й ін.

Для математичного опису процесу керування структурою складної системи $\sum^v\{\sum_i\}$ введемо основні операції, що представляють відносини між підсистемами $\sum_i$ в усіх можливих логічних законах функціонування. У підсистемах $\sum_i$; із всіх узагальнених станів $Q_i\{q^{vi}\}$ виділяємо початкове (стартове) $q_{(v0)}$ і фінальне q_{Ni} стану. Дві і більше підсистеми $\sum_i, \dots, \sum_j \in \sum^v$ можуть функціонувати у взаємодії, досягши фінальних станів $q_{Ni}, \dots, q_{Nj}$ і утворивши групу підсистем $\{\sum_i, \dots, \sum_j\}$ у цих станах $q_{N\{i, \dots, j\}}$. Ця група може бути утворена як кон'юнктивне об'єднання підсистем $\sum_i, \sum_j$ у фінальних станах

$$Q_{vr\{i,j\}} = q_{Ni} \wedge q_{Nj}$$

або як диз'юнктивне об'єднання

$$Q_{vr\{i,j\}} = q_{Ni} \vee q_{Nj},$$

допускаючи одночасну істинність (автономну роботу кожної з підсистем і їх можливе об'єднання) $L_s^{fi}=1, L_s^{fj}=1$ в (3.3), $L_s^{fi} \vee L_s^{fj} = 1$.

Для стислості розглянемо дві підсистеми $\sum_i \sum_j$, що не є, як відомо, обмеженням, тому що ці операції легко поширюються на $n \geq 2$ підсистем.

Введемо також операцію диз'юнктивного альтернативного об'єднання двох підсистем $\sum_i \vee \sum_j$:

$$Q_{\vee 0\{i, j\}} = q_{Ni} \vee q_{Nj},$$

що не допускає одночасної істинності $L_s^{fi}=1, L_s^{fj}=1$. Це означає, що в початковому стані групи $Q_{\vee 0\{i, j\}}$ функціонують або підсистема $\sum_i$; у своєму фінальному стані q_{Ni} або підсистема $\sum_j$ у q_{Nj} ; їх одночасне функціонування ($q_{Ni} \wedge q_{Nj}$) як елементів системи в цілому $\sum^v \{\sum_i, \dots, \sum_j\}$ виключається.

Доповнює вказаний перелік операцій для представлення росту мережі (складу) системи $\sum^v \sum_i$ нейтральна операція: дискретний перехід підсистеми $\sum_i$ чи системи в цілому $\sum^v$ до тотожної (незростаючої, не спадаючої) структури з тим же складом $\{I\}$:

$$Q_{v\{I\}} \rightarrow Q_{(v+1)\{I\}}.$$

Динаміка складної системи $\sum^v \{\sum_i\}$ включає поряд з ростом мережі операції її спадання. З будь-якого стану $Q_{v\{i\}}$, утвореного операціями кон'юнктивного і (чи) диз'юнктивного об'єднання, система $\sum_{\{I\}}^v$ може перейти в стан зі скороченим складом:

$$Q_{v\{I\}} \rightarrow Q_{(v-\lambda)\{I\} \setminus \{i, j\}},$$

де $\{i, j\} \subset I$, $\{I\} \setminus \{i, j\}$ — доповнення індексної нескінченності $\{I\}$, що визначає склад системи $\sum^v$.

Основною математичною моделлю систем з керованою структурою прийняті системи логіко-диференціальних рівнянь [19]:

$$\begin{aligned}\bar{x}(t) &= \sum_{s \in S} L_s^f f_s(\bar{x}, \bar{u}_L, t), f_s \in F; \\ \bar{u}_L(t) &= \sum_{k \in K} L_k^u u_k(t), \bar{u}_k \in U; \\ L_s^f &\in L^f, L_k^u \in L^u, L^f L^u \in \{0, 1\}.\end{aligned}\tag{2.28}$$

Їм відповідають математичні аналоги у формі гібридних графів, що поєднують графи потоків сигналів [47, 48] і графи переходів [42—49]. Обчислювальна схема звичайно містить у формалізованому вигляді представлення процесу обчислень у категоріях моделі системи, що дозволяє досліднику одержати деяку числову реалізацію динаміки функціонування системи. Побудова обчислювальної схеми виявилася можлива на основі отриманого доказу умов існування й одиничності рішення системи логіко-диференціальних рівнянь [50]. Ідея доказу ґрунтується на наступних математичних фактах.

1. Кінцева множина крапок розриву $S \{s\}$ дискретно змінюваної правої частини логіко-диференціального рівняння (2.28) не «погіршує» модель системи більше, ніж звичайно передбачувані властивості функцій $f_s(\bar{x}, \bar{u}, t)$ у дискретній послідовності

$$\sum_{s \in S} L_s^f f_s(\bar{x}, \bar{u}, t).$$

Остання має властивість R -інтеграції. Цією умовою забезпечується існування рішення системи (2.28).

2. Одиничність рішення системи (2.28) забезпечується і задається логічними умовами дискретних переходів $L_s \in L^F$ цілком упорядкованою послідовністю узагальнених станів (2.27).

3. Множина рішень системи (2.28) з точністю до початкових умов $\bar{x}(t_0) \in X_{v_0}$ і впливів $\bar{u}_k(t) \in U$ однозначно визначено кінцевою множиною можливих шляхів $P_{v_0, N}$ дискретних переходів на нескінченності структур системи $Q\{q_v\}_{v_0}^N$. Таким чином, побудована в роботах [19, 30] аксіоматика ієрархічного об'єднання двох фундаментальних моделей - динамічної

диференціальної системи (нижній рівень) і кінцевого автомата (верхній рівень) - одночасно визначає обчислювальну схему для моделювання систем з керованою структурою. Практичне застосування гібридних графів для аналізу такого класу систем забезпечує всю необхідну інформацію для числового моделювання динамічних процесів як на цифрових ЕОМ, так і на цифро-аналогових комплексах.

Аналіз побудованих моделей систем з керованою структурою дозволяє сформулювати деякі цікаві і, як нам здається, корисні наслідки.

1. Задача керування логіко-динамічною системою поєднує в загальному випадку дві ієрархічно упорядковані і математично різномірні задачі:

- задачу синтезу вхідного впливу $\bar{u}_k \in U$ для локального узагальненого стану q_{vi} (нижній рівень);
- задачу повного упорядкування дискретних переходів на кінцевій нескінченності структур $f_s \in F$ (верхній рівень).

2. Відомий принцип динамічного програмування Р. Беллмана [24, 28] - керування $\bar{u}_k$, є функція фазового стану ($\bar{u}_k = K(\bar{x})$) - виявляється недостатньо повним у випадку ієрархічних систем виділеного класу. Цей принцип необхідно розширити до такої форми: керування є функція упорядкування послідовності структурних станів q_v (верхній рівень) і числових значень фазових станів $\bar{x}(t)$ (нижній рівень).

3. Задача повного упорядкування (керування верхнього рівня) може бути зведена до синтезу закону функціонування ініціального кінцевого автомата як комбінаторної частини системи $\sum\{\sum_i\}$.

4. Задача глобальної оптимізації логіко-динамічної системи включає два ієрархічно упорядкованих завдання:

- задача оптимального упорядкування кінцевої множини структур системи $F\{f_s\}$ (верхній рівень);
- задача синтезу оптимальних керуючих впливів $\bar{u}_k \in U$ при локальній стаціонарності структури (нижній рівень).

Сформульовані задачі керування в системах логіко-динамічних систем вимагають повної постановки і створення засобів їх рішення. Ці задачі, не є традиційними навіть для сучасної теорії автоматичного керування [28], досліджені вкрай недостатньо. Вони мають різні аспекти в математичному, обчислювальному, технічному і методологічному сенсі. Нас цікавлять, насамперед, питання системного проектування систем цього класу, тому основна увага приділяється першому й останньому аспектам.

2.4 Основні характеристики та розробка обчислювальної схеми для моделювання інтегрованих комп'ютерних систем з керованою структурою.

Наведена вище умова повного упорядкування множини $Q\{q_v\}$ необхідно до визначити в задачі оптимізації таким чином, щоб кожній меті керування системою $\sum\{\sum_i\}$ відповідала цільова множина $Q^u\{q_i^0\}$ типу заданих значень фазових координат підсистеми $\sum_i$. Досягнення мети керування фіксується крапкою $x_1 \in Q^0$ першого досягнення системою $\sum$ множини Q^u . У системах з керованою структурою $\sum\{\sum_i\}$ повне упорядкування кінцевої множини структурних станів $Q\{q_v\}$ є змістом конкретної задачі керування. У цьому випадку умови одиницності рішення системи (2.28) вимагають фіксованих одноелементних множин початкових (стартових) станів $q_{(v0)}$ і підсистем і фінальних станів q_{Ni} , що повинні містити рішення $\bar{x}_i(t)$, що задовольняють умову $\bar{x}_i(t) \in X_i^0$, де X_i^0 - цільова множина (область фазового простору) i -ї підсистеми.

Таким чином, визначення умов п. 3 в задачі керування означає наступне. Досягнення мети керування логіко-динамічною системою фіксується цілком точно:

- досягненням системою в цілому $\sum\{\sum_i\}$ сукупності фінальних структурних станів $Q_N\{q_{N_1}\}$, адекватних цільовій множині $Q^u\{q_i^u\}$, тобто $Q_N \subset Q^u$;

- вектором $x_1(t)$ першого досягнення системою $\sum$ динамічних станів X^u .

Таким чином, оптимізація системи з керованою структурою $\sum\{\sum_i\}$ означає побудову правила домінування при виборі шляху P_{v0N}^{kopt} переходів з початкового структурного стану системи $\sum\{\sum_i\}$ у фінальний стан Q_N , що задовольняє умові $Q_N \subset Q^u$. Якщо такий шлях P_{v0N} є в системі єдиний, (відсутній вибір), задача глобальної оптимізації стає рівноцінним єдиній послідовності задач локальної оптимізації, тобто синтезу $u_L^{opt}(t) \in U$. Основна проблема оптимізації системи $\sum$ у цьому випадку є чисто обчислювальною, тому що права частина рівняння містить специфічні розриви самої функції f_s [51]. У загальному випадку вся множина шляхів переходів P_{v0N} не зводиться до одноелементного і може бути представлена як неупорядкована сума добутків:

$$P_{v0,N}^{(k)} \sum_{l1=0}^n \sum_{l2=1}^n \dots \sum_{lk-1=1}^n \pi_{v0l1} \pi_{l1l2} \dots \pi_{lk-1N}.$$

Елементом цієї множини буде упорядкована послідовність $\pi_{v0l1}, \pi_{l1l2}, \dots, \pi_{lk-1N}$ (задана вхідним словом $L_{l1}^f, L_{l2}^f, \dots, L_N^f$ автомата A^f), що ставиться у відповідність до оцінки (наприклад, час досягнення системою $\sum$ фінального стану $\tau_{v0N} = \sum_{v \in N} \tau_{(v-1),v}$). У логіко-динамічній системі, де керованою є тільки структура, оптимізація означає вибір шляху $P_{v0N}^{(k)extr}$ дискретних керованих переходів з екстремальною властивістю). Така задача зводиться до аддитивної задачі нелінійного програмування — відшукуванню екстремуму аддитивної функції

$$\varphi(\tau_0, \tau_1, \dots, \tau_N) = l_{(\tau_0)+} \sum_{v=1}^{N-1} \varphi_v(\tau_v, \tau_{v+1})$$

при обмеженнях $\tau_v \in G_v$. Вона цілком задовільно зважується алгоритмом «київський віник» [52], що дозволяє відшукати глобальний екстремум.

Завдання оптимізації з керованою структурою складної логіко-динамічної системи не може бути зведене до спрямованого перебору з метою визначення $P_{v0,N}^{(k)extr}$. Формально це пояснюється тим, що модель такої системи $\sum^g \{\sum_i\}$ не можна звести до простої (безальтернативної) мережі, що відображає тільки логічні і метричні властивості об'єкта; логічні — за допомогою дискретних керованих переходів на кінцевій нескінченності структурних станів $Q\{q_v\}$; метричні — за допомогою числової реалізації функцій $f_s(\bar{x}, \bar{u}, t)$ при керуванні $\bar{u}(t)$.

Модель системи $\sum^v$ є альтернативною мережею, і керування вимагає залучення принципів динамічного програмування, характерного для систем багатоцільового функціонування. Істотним доповненням до метричних і логічних властивостей у законі функціонування повинні бути засоби для представлення комбінаторних властивостей системи $\sum^v \{\sum_i\}$. Такі властивості мають моделі типу альтернативних мереж, багаторівневих динамічних ігор [53] і ін. Зміст комбінаторних властивостей у моделях систем багатоцільового функціонування полягає в наступному. Кожна мета керування Q^{*M} у складній системі з керованим складом взаємодіючих підсистем $\sum_i \in \sum^v$ представляється фінальним структурним станом q_{Ni} однієї з підсистем $\sum^v$, що є «провідною ланкою» у даній операції. Оскільки в загальному випадку в кожній із взаємодіючих підсистем $\sum_i$ існує кінцева множина шляхів дискретних переходів $P_{(v0)iNi}$, що ведуть у фінальний стан q_{Ni} , для здійснення будь-якого виду взаємодії в системі в цілому $\sum^v \{\sum_i\}$ необхідна координація щодо складу взаємодіючих підсистем $\sum_i \in \sum^v$ і критеріїв якості їхнього функціонування. Іншими словами, меті системи Q^{*M} ,

представленої категоріями фінального стану $q_{Ni}^{pn} \subset Q^{*o}$ домінуючої в даній операції підсистеми $\sum_i^{pr}$, повинна відповідати логічна схема операції, що в нашому випадку є зростаючою мережею взаємодії всіх підсистем $\sum_i$. Альтернативність мережі (у сенсі складу підсистем $\sum_i$) і існування неєдиних шляхів дискретних переходів $P_{(vo)i, Ni}$ у фінальні стани q_{Ni} (стану можливої взаємодії) роблять необхідним скоординувати також критерій якості керування локальними підсистемами $\sum_i$. Тут слід відзначити істотну відмінність координації логіко-динамічних систем $\sum_i^{pr}$ від координації в багаторівневих системах [46, 54] з рівноцінною участю кожної підсистеми $\sum_i$ у загальному законі функціонування. У багаторівневих динамічних іграх [53] ідеологія взаємодії гравців будується на існуванні ситуацій рівноваги, у яких жоден гравець не може збільшити свого виграшу, змінивши стратегію, якщо інші гравці її не змінюють. На противагу цьому керування системами багатоцільового функціонування включає процедуру заміни логічної схеми операції на задану мету з відповідною зміною домінуючої підсистеми $\sum_i^{pr}$, $i \in I$. Координація в системах логіко-динамічного класу по суті означає централізацію керування в змісті динаміки домінування підсистем $\sum_i^{pr}$, $i \in I$. Таким чином, крім двох представлених рівнів ієрархії (диференціального динамічного і структурного) у складній системі багатоцільового призначення необхідний ієрархічний рівень координації взаємодії, що виділяється з сукупності структурно керованих підсистем $\sum_i$.

Вище відзначалося, що розробка елементів теорії систем з керованою структурою стимулювалася задачами системного проектування керуючих комплексів. Залучення розвинутого апарату теорії динамічних диференціальних систем і теорії автоматів дозволило побудувати обчислювальні схеми для моделювання систем цього класу і розробити деякі методи аналізу і синтезу [19, 32].

Разом з тим, основна задача системного проектування належить раннім етапам і полягає в створенні архітектури системи і побудові закону функціонування. Тільки після побудови цих домінуючих проектних рішень представляється, як правило, можливість декомпозиціювати завдання на розв'язання завдань синтезу окремих підсистем. У логіко-динамічних системах системами верхнього (другого) рівня визначені ініціальні автомати Мура [19]. Однак теорія автоматів не включає в число досліджуваних задач проблему синтезу законів функціонування автоматів як пристроїв керування, приймаючи ці апріорі заданими. Така задача є найважчою у сучасній теорії керування і до розв'язання її формуються лише перші підходи.

На наш погляд заслуговує на увагу як підхід до розв'язання цієї задачі поєднанням по можливості строгої аксіоматизації об'єкта проектування (системи) із системною процедурою (логічною схемою) побудови складних проектних рішень, що поєднує дедуктивізацію етапів проектування і диференційований досвід фахівців [13]. Числові оцінки однієї конкретної схеми проектування дозволили виділити задачу з максимальною невизначеністю. Цією задачею виявилась задача синтезу структури ієрархічної системи керування логіко-динамічної системи, причому невизначеність тут мала значення логічної суперечності [30]: вихідні дані A_i задач синтезу структури T_i , що відкриває послідовність $i=1,2,\dots,I$, містять проектні рішення R_j кінцевих завдань T_j , $j \leq I$. Природним виявилось прагнення залучити методологію теорії дослідження операцій [55] для побудови конструктивної методики розв'язання задач структурного синтезу складних систем. У категоріях нашої проблематики логічна схема досліджень представляється такою послідовністю:

- декомпозиція загальної задачі проектування системи (складного об'єкта) з керованою структурою;
- побудова аксіоматики моделей об'єкта проектування в декомпозиційних задачах;
- розробка основних елементів теорії систем з керованою структурою;

- формулювання принципів керованості і оптимальності систем з багаторівневою структурою.

Тут центральною ланкою методології досліджень операцій є проблема декомпозиції загальної (строго нерозв'язної) задачі системного проектування.

Для побудови проектних рішень у декомпозиційних рівнях логічної схеми проектування необхідний значно менший обсяг вихідної інформації більш визначеного інженерного змісту, ніж підвищення можливості розв'язання локальних задач. Однак, при цьому ускладнюється взаємне узгодження оцінок локальних проектних рішень з позицій глобальної оптимізації.

У наведеному вище прикладі побудови структури логіко-динамічної системи аксіоматичний підхід ефективно застосовується з моменту, коли формальними категоріями узагальнених станів q_{Ni}^{pr} системи $\sum^v \{\sum_i\}$ визначені цілі керування $Q^M \{Q^{*M}\}$ відповідно до системної методології досліджень, повинні бути зіставлені засоби (витрати) досягнення цих цілей. Як правило, множина S^M упорядковується по «вазі» (значимості) цілей Q_k^{*o} , $k \in K$, у функціонуванні об'єкта в цілому, частоті їхньої появи, надійності досягнення кожного з підмножин $Q^{*M} \{Q_k^{*o}\}$ визначених нескінченністю цілей керування Q^M . Системний аналіз цілей керування і засобів їх досягнення повинен дати підстави для побудови динаміки домінування підсистем $\sum_i^{pr}$, що визначає архітектуру рівнів у керуванні складом взаємодіючих підсистем. Аналіз сукупності цілей керування Q^M для одного конкретного типу об'єктів логіко-динамічної системи дозволив зробити однозначний висновок про те, що основні (по «вазі», частоті) функції координації взаємодії належать підсистемі керування рухом $\sum_{\bar{a}\bar{a}}^{pr}$ об'єкта. Отже, підсистема $\sum_{\bar{a}\bar{a}}$ повинна займати виділений їй рівень ієрархії з відповідною централізацією керування взаємодією підсистем $\sum_i \in \sum^v$. Для цілей оптимізації керування такими системами розроблено спеціальний алгоритм. Програми моделювання структурних властивостей виділеного класу систем

приводять до ще одного, не менш цікавого висновку. Необхідність у координації взаємодії підсистем $\sum_i$ відпадає при відсутності альтернативності в керуванні складом системи $\sum^v\{\sum_i\}$ і одноваріантних шляхах дискретних переходів у керуванні структурою підсистеми $\sum_i$. У цьому крайньому випадку система переходить з категорії складних у розряд традиційних систем програмного керування. Для її опису не потрібен апарат логіко-диференціальних рівнянь і альтернативних мереж, оскільки розв'язання задачі керування можливе, як правило, у класі динамічних систем з дискретним часом $t=0,1,...,T$ [28]. Усі ці проектні рішення можливо побудувати на ранніх етапах проектування до синтезу числовими методами законів функціонування з залученням апарата структурних побудов логіко-динамічних систем. Представлені вище процеси керування в системах з керованою структурою вимагають використання трьох категорій математичних моделей: динамічних диференційних систем, кінцевих динамічних систем і альтернативних мереж для побудови ієрархічної структури складних систем керування. Глибина функціональних зв'язків між трьома виділеними рівнями істотно знижується до верхніх рівнів. Це природна властивість ієрархічних систем знайшла своє відображення як у термінології, так і в категоріях операцій: дискретних переходів на множинах структурних станів $\langle f_v, \varphi_v, \eta_v \rangle$, кон'юнктивних і диз'юнктивних об'єднань.

Проблема дослідження динамічних властивостей складних систем характерна ,насамперед, для об'єднання нижнього і середнього рівнів, тобто для логіко-динамічних систем. Якщо будуть розроблені конструктивні методи аналізу системи, що складається з динамічних рівнів, вони можуть бути легко перенесені на системи з трьома рівнями ієрархії, тому що третій (комбінаторний) рівень ніяких принципових можливостей у логіко-динамічну модель не вносить, за винятком, можливо, підвищення об'єму задач, викликаного ростом мережі у бік фінальних об'єднань.

Цей математичний факт визначив базову модель у вигляді системи логіко-диференціальних рівнянь як основу для розробки методів, алгоритмів і програм дослідження стійкості систем з керованою структурою. З іншого боку, цей факт свідчить про універсальність такої гібридної моделі, що алгоритмічно поєднує дві фундаментальні моделі сучасної теорії систем. Отже методи, створені для дослідження складних систем, представлені класом логіко-динамічних моделей, мають відповідну універсальну структуру.

2.5 Аналіз методів дослідження стійкості КСУ ТП, орієнтованих на сучасні інформаційні технології.

У даному розділі наведено огляд і аналіз машинних методів дослідження стійкості складних систем і обраний один з методів для використання його при дослідженні стійкості систем логіко-динамічного класу.

Деякі комп'ютерні методи дослідження стійкості КСУ ТП. Як відомо, використання комп'ютерної техніки та сучасних інформаційних технологій для проектування КСУ ТП відбувається сьогодні по двох основних напрямках [30, 11, 56]: у першому випадку обчислення виконуються за допомогою комп'ютерних систем, в другому — розробляються нові методи теорії управління, розраховані на сучасні можливості комп'ютерної техніки[57].

З існуючих класичних алгоритмів побудови області стійкості широке застосування одержав алгоритм Рауса – Гурвица [30]. Проте, за наявності значної кількості елементів КСУ ТП задача виявляється надто трудомісткою і вимагає великих обчислювальних витрат. Так, якщо поведінка досліджуваної КСУ ТП описується диференціальними рівняннями, представленими в нормальній формі Коші, для аналізу стійкості необхідно заздалегідь визначити всі коефіцієнти характеристичного полінома. Коли ж аналізується стійкість складної КСУ ТП в умовах невизначеності

виникають особливі труднощі структурного та обчислювального характеру, не дивлячись на наявність ефективних методів обчислення [58, 59, 56] і ін.). Крім того, при складанні програм часто доводиться передбачати велику кількість різних непередбачених ситуацій через певні особливості структури КСУ ТП, що значно ускладнює задачі моделювання.

У класичній роботі [56] дається теоретична основа, на якій можуть будуватися сучасні комп'ютерні методи дослідження динаміки КСУ ТП. Такою основою можуть служити матричні методи, мова яких найбільш адекватна мовам комп'ютерних систем. Характерною особливістю такого підходу є можливість використання матриці коефіцієнтів системи управління, записаної в нормальній формі Коші, без проміжної побудови характеристичного полінома. Ця особливість є корисною для практичних цілей.

Матричні методи дослідження стійкості. Розглянемо систему лінійних диференціальних рівнянь вигляду

$$\dot{X}(t) = AX(t),$$

де A — матриця коефіцієнтів системи порядку n ; $X(t)$ — одностовпцевий вектор елементів $x_1, x_2, \dots, x_n$.

Для того, щоб дана система була асимптотично стійка, необхідно і достатньо, щоб всі власні значення початкової матриці коефіцієнтів A лежали в лівій напівплощині комплексного змінного, а λ_i були розв'язками алгебраїчного рівняння :

$$|A - \lambda E| = 0. \quad (2.29)$$

Матрицю B , зручну для подальшого дослідження, одержимо, використовуючи відоме дробово-лінійне перетворення, широко вживане в теорії аналітичних функцій:

$$\lambda = \frac{\rho + 1}{\rho - 1}. \quad (2.30)$$

Воно має ту властивість, що уявна вісь, яка розглядається як коло нескінченного радіусу, переводиться ним в коло одиничного радіусу з

центром на початку координат. Оскільки кожній точці лівої напівплощини комплексного змінного λ відповідає цілком певна точка, що належить колу одиничного радіусу, і навпаки, то ця відповідність є однозначно взаємною:

$$\rho = \frac{\lambda + 1}{\lambda - 1}.$$

Якщо підставити значення λ з виразу (2.29) в (2.30), то одержимо рівняння:

$$\left| A - \frac{\rho + 1}{\rho - 1} E \right| = 0. \quad (2.31)$$

Перемножуючи (2.28) на $(\rho - 1)^n$ і враховуючи, що $a^n |A| = |aA|$, одержимо

$$|A(\rho - 1) - (\rho + 1)E| = 0,$$

або

$$|-A - E + \rho(A - E)| = 0. \quad (2.32)$$

Якщо помножимо рівняння (2.29) на 1, а потім на $(A - E)^{-1}$, то одержимо:

$$|(A - E)^{-1}(A + E) - \rho(A - E)^{-1}(A - E)| = 0.$$

Остаточно маємо:

$$|(A - E)^{-1}(A + E) - \rho E| = 0. \quad (2.33)$$

Позначаючи в рівнянні (2.33) вираз $(A - E)^{-1}(A + E)$ через B , одержимо $|B - \rho E| = 0$, причому матрицю B можна представити таким чином:

$$B = (A - E)^{-1}(A + E) = (A - E)^{-1}(A + E - E + E) = (A - E)^{-1}[(A - E) + 2E] = E + 2(A - E)^{-1}.$$

Легко побачити, що якщо всі власні значення λ_i початкової матриці коефіцієнтів A лежать в лівій напівплощині комплексного змінного λ , то всі власні значення ρ_i перетвореної матриці коефіцієнтів B знаходяться усередині кола одиничного радіусу, і, навпаки, якщо хоча б одне λ_i опиниться в правій напівплощині, то серед ρ_i знайдеться таке, для якого $|\rho_i| > 1$.

Відомо [56, 60], що якщо власні значення матриці B істина $\rho_1, \rho_2, \dots, \rho_n$, то власні значення матриці B^k суть числа $\rho_1^k, \rho_2^k, \dots, \rho_n^k$.

Таким чином, для того, щоб система була асимптотично стійкою, необхідно і достатньо, щоб всі власні значення перетвореної матриці коефіцієнтів B були по модулю менші за одиницю, тобто лежали усередині одиничного круга з центром на початку координат. Можливість виконання цієї умови стійкості можна встановити за фактом абсолютного спадання всіх елементів матриці B^k . Піднесення матриці B до ступеня рекомендується виконувати так, щоб кожна подальша матриця була квадратом попередньої, тобто за законом $B^k = B^{2^m}$, $m = 1, 2, \dots$. Обчислення можна припинити, як тільки абсолютне значення кожного з елементів матриці B^k не буде перевищувати величини β/n , тобто якщо виконується нерівність

$$|b_{ij}^k| \leq \frac{\beta}{n},$$

де $0 < \beta \leq 1$ — порядок початкової матриці.

Остаточно критерій стійкості формулюється таким чином: для того, щоб досліджувана система була асимптотично стійкою, необхідно і достатньо, щоб перетворена матриця коефіцієнтів B^k прямувала до нульової матриці при $k \rightarrow 0$, де

$$B = E + 2(A - E)^{-1}.$$

Для отримання перетвореної матриці коефіцієнтів B виконується операція побудови зворотної матриці $(A - E)^{-1}$, яка часто здійснюється з відомими складнощами. Цього можна уникнути за допомогою методу, що виключає обіг матриці, ідея якого запропонована В. І. Зубовим, а потім розвинена М. С. Мамсуровим [61, 62]. На площині комплексного змінного λ задане коло довільного радіусу R , в якому містяться всі власні числа λ_i матриці A . *Центр* кола знаходиться на речовинній негативній на півосі в точці $(-R, 0)$. Зобразимо коло на площині комплексного змінного за допомогою функції

$$\rho = 1 + \frac{\lambda}{R} \quad 2.34)$$

для чого підставимо з (2.34) $\lambda = (\rho - 1)R$ в рівняння

$$|A - \lambda E| = 0.$$

Після нескладних перетворень одержимо:

$$\left| \bar{B} - \rho E \right| = 0; \quad \bar{B} = E + \frac{A}{R}..$$

Тоді, якщо всі власні значення λ_i початкової матриці коефіцієнтів A системи знаходяться усередині кола радіусу R в лівій на півплощині комплексного змінного λ , то всі власні значення ρ_i перетвореної матриці коефіцієнтів B лежать усередині одиничного кола з центром на початку координат $|\rho_i| < 1, i = 1, 2, \dots, n$, на площині комплексного змінного ρ . Критерій стійкості формулюється тепер таким чином: для того, щоб всі власні значення матриці коефіцієнтів A системи знаходилися усередині кола заданого радіусу R з центром в точці $(-R, 0)$, розташованій в лівій напівплощині $\operatorname{Re} \lambda_i < 0$, необхідно і достатньо, щоб виконувалася умова:

$$\left(E + \frac{A}{R} \right)^k \rightarrow \text{нуль-матриці при } k \rightarrow \infty.$$

Вибір радіусу R виконується методом декількох випробувань.

Деякі особливості застосування матричних методів дослідження стійкості. Хай необхідно здійснити вибір радіусу R . Вибір великого значення R може призвести до утруднень обчислювального характеру. Якщо елементи матриці коефіцієнтів A задаються достатньо малими значеннями, то розподіл на великі числа призводить до зникнення їх, враховуючи вихід числа за межі розрядної сітки машини. Крім того, велике значення радіусу збільшує число машинних кроків при аналізі кожної точки і подовжує час розв'язання завдання. Цього можна уникнути при нормуванні матриці. Оцінка стійкості по нормі матриці B полягає у встановленні факту стійкості без піднесення до ступення матриці B . Якщо

це неможливо зробити, то треба знати, скільки разів слід підносити матрицю B до ступеня.

Нормою квадратної матриці B називається дійсне число $\|B\|$, яке задовольняє такі умови:

а) $\|B\| \geq 0$, причому $\|B\| = 0$ тоді і тільки тоді, коли $B = 0$;

б) $\|CB\| = |C| \cdot \|B\|$ (C — число), зокрема $\| -B^h \| = \|B\|$;

в) $\|B + D\| \leq \|B\| + \|D\|$;

г) $\|BD\| \leq \|B\| \cdot \|D\|$

Тут B і D — матриці, для яких відповідні операції мають сенс. Зокрема, для квадратної матриці маємо $\|B^h\| \leq \|B\|^h$, де h — натуральне число.

Звичайно розглядають такі норми:

$$\|B\|_I = \max_i \sum_{j=1}^n |b_{ij}|; \quad \|B\|_{II} = \max_j \sum_{i=1}^n |b_{ij}|; \quad \|B\|_{III} = \sqrt{\sum_{i,j=1}^n b_{ij}^2}; \quad \|B\|_{IV} = \max_{i,j} |b_{ij}|. \quad (2.35)$$

Для того, щоб досліджувана система $X = AX$ була асимптотично стійкою і $B^k \rightarrow 0$ при $k \rightarrow \infty$, достатньо, щоб будь-яка з норм матриці B була меншою за одиницю, тобто $\|B\| < 1$, або

$$\min(\|B\|_I, \|B\|_{II}, \|B\|_{III}, \|B\|_{IV}) < 1.$$

Якщо $\|B\| > 1$, то ніяких висновків щодо стійкості без розгляду ступенів матриці зробити не можна. Хоча оцінка за нормами (2.35). дає можливість швидше виявити стійкість у порівнянні з нерівністю $|b_{ij}^k| \leq \beta/n$, проте розробка алгоритму і складання програми тільки за нормами складні, оскільки ми точно не знаємо, чи відбувається після оцінки за нормами перехід до дослідження вказаної нерівності.

Розглянемо оцінку стійкості за слідом матриці

$$SpB = \sum_{i=1}^n b_{ii}.$$

Вона витікає з того факту, що слід матриці SpB^k стійкої системи прагне до нуля при $k \rightarrow \infty$. При пошуку межі області стійкості для побудови області стійкості доцільно використовувати вираз

$$|SpB| \geq n \quad (2.36)$$

Вираз (2.36) означає, що достатньо побудувати матрицю i , якщо її слід або слід після піднесення її до степеня по модулю перевищує порядок матриці n , то досліджувана точка простору допустимих значень параметрів не належить області асимптотичної стійкості. Якщо при обході межі виконується умова (2.36), то потрібно переходити до дослідження наступної точки. Якщо умова (2.36) не виконується, необхідно розглянути сліди послідовних ступенів матриці B .

Для оцінки стійкості дослідження часто спирається на вивчення слідів трьох послідовних ступенів.

Якщо, починаючи з деякого k , сліди трьох послідовних ступенів матриці B зменшуються, досліджувану систему розглядають як стійку.

При побудові області стійкості верхньої межі, що визначає неналежність досліджуваної системи до області асимптотичної стійкості, ми прийняли вираз (2.36). Нижньою межею, що визначає належність досліджуваної системи до області асимптотичної стійкості, прийняли вираз $|b_{ij}^k| \leq \beta/n$. У останньому випадку ми виходили з аналізу численних прикладів, наведених в роботі [56], де всі матриці швидко зменшуються, тобто $|b_{ij}^k| < 1$, або швидко зростають, $|SpB| \geq n$, а також із зручності побудови алгоритму (програми) по виразу $|b_{ij}^k| \leq \beta/n$, оскільки побудова по слідах вимагає спочатку виявлення того ступеня, з якого почалося зменшення, і далі — наступного за ним.

Розробка матричного методу дослідження стійкості КСУ ТП багатокрокового класу. У цьому параграфі досліджується можливість застосування матричного методу дослідження стійкості, розробленого для аналізу стійкості лінійних складних систем, до нелінійних логіко-динамічних систем (при використанні доказу існування і єдності рішення систем логіко-

диференціальних рівнянь) із застосуванням лінеаризації системи нелінійних рівнянь для певної сукупності структурних станів ЛДС.

Можливість впорядкування логічних переходів у функціонуванні складних нелінійних логіко-динамічних систем управління забезпечена введенням логічних функцій $L_i^{(\cdot)}$ у загальну математичну модель таких систем, тобто:

$$\frac{dx_i}{dt} = \sum_{i=1}^n L_i^f f_i \left(\bar{x}_i, \sum_{j=1}^k L_j^u u_j, t \right), \quad i = 1, 2, \dots, n, \quad (2.37)$$

де

$$L_i^f = L_i^f(\bar{a}_i, \bar{x}, \bar{u}, t); \quad L_j^u = L_j^u(\bar{b}_j, \bar{x}, \bar{u}, t).$$

У виразі (2.37) логічні функції L_i^f і L_j^u , що визначають логічні переходи з одного локального стану в інший, в свою чергу, підкоряються умовам єдності:

$$L_i^f \wedge L_n^f = 0 \quad \text{при} \quad i \neq n; \quad L_j^u \wedge L_k^u = 0 \quad \text{при} \quad j \neq k$$

і повноти

$$\bigvee_{i=1}^I L_i^f = 1, \quad \bigvee_{j=1}^J L_j^u = 1.$$

Таким чином, можна обрати єдину підсистему, відповідну певному локальному стану між двома послідовними керованими переходами (ці підсистеми можуть бути високого порядку, особливо для «укрупнених» локальних станів, тобто із зростанням рівня ієрархії при проектуванні складних систем). Завдання про порядок дослідження таких виділених підсистем витікає з розв'язання завдання поетапного проектування складних ЛДСУ [30].

Для системи (2.36) необхідне виконання умов існування єдності безперервних рішень $\psi(t)$, що задовольняють упродовж всіх можливих шляхів на множинах $F \{f_{ij}\}$ і $G \{g_{ij}\}$ рівняння (2.36), за винятком, можливо, кінцевої безлічі моментів часу t , де значення $\bar{x}_i$ не визначене. Тоді загальне завдання дослідження стійкості системи (2.36) можна розчленувати на

кінцеву кількість завдань, що вирішуються незалежно для кожного з локальних (у нашому випадку «укрупнених») станів, тобто:

$$\frac{dx_i}{dt_i} = L_i^f f_i(\bar{x}_i, \bar{u}, t). \quad (2.37)$$

У кожній з можливих підсистем, які відповідають локальним станам, що задаються впорядкуванням індексної множини $I \{i\}$ ($r_i \in R$ — виділена підсистема, відповідна локальним станам), відповідає область стійкості відповідно до дискретно керованої зміни правої частини (2.36). Множина різноманітних шляхів переходів рівна $R \{r_i\}$, тобто множина підсистем, що відповідає множині локальних станів, припустимих законом функціонування автомата A^t , буде представлено сукупністю областей стійкості досліджуваної ЛДС.

Таким чином, для математичної моделі складної ЛДС (2.36) ми забезпечили вибір єдиної підсистеми із різноманітних підсистем, що відповідають локальним станам. Загалом система (2.36), що функціонує за асинхронним принципом, має чисто випадковий характер дискретних переходів.

Для того, щоб можна було застосувати матричний метод дослідження стійкості, розроблений для лінійних систем, до складних нелінійних логіко-динамічних систем управління, потрібна лінеаризація останніх, тобто в рамках окремих підсистем, відповідних локальним станам x_i , систему нелінійних диференціальних рівнянь (2.30) приводимо до вигляду

$$\frac{dx_i}{dt_i} = \sum_{i=1}^n L_i^t F_i \bar{X}_i + \sum_{j=1}^k L_j^u G_j \bar{U}_j, \quad (2.38)$$

використовуючи лінеаризацію. Звідси видно, що необхідно визначити n лінеаризованих систем, що відповідають логічним умовам переходів, тобто:

$$\bar{X}_i = F_i \bar{X}_i, \quad i = 1, 2, \dots, n,$$

де F_i — числова матриця коефіцієнтів розмірності $m \times m$.

$$\begin{aligned} \frac{dx_1}{dt_1} &= L_1^{F_1} F_1 \bar{X}_1 + L_1^{G_1} G_1 \bar{U}, \\ &\dots\dots\dots \\ \frac{dx_n}{dt_n} &= L_n^{F_n} F_n \bar{X}_n + L_n^{G_n} G_n \bar{U}. \end{aligned} \tag{2.39}$$

Таким чином, якщо розглянути завдання проектування відповідно до рівнів логічної схеми проектування (30), то на кожному рівні одержуємо множину складних взаємопов'язаних (усередині системи) підсистем, що відповідають локальним станам на цих рівнях. Іншими словами, на кожному рівні є множина локальних станів, що визначається множиною складних підсистем, які, відповідно, виділяються умовами єдності і повноти і допускають впорядкування автоматом A^f . Кожну з цих підсистем необхідно досліджувати у всіх основних режимах. Матриці коефіцієнтів однієї лінеаризованої підсистеми можна позначити A (матриця $m \times m$). На кожному рівні є n локальних станів, відповідних n підсистем, і якщо їх лінеаризувати, то одержимо відповідно описані в попередньому параграфі матриці A_i , де $i = 1, 2, \dots, n$.

Ми одержали n матриць коефіцієнтів у відповідності n лінеаризованих підсистем на одному фіксованому рівні. Якщо лінеаризувати всі ієрархії, що є на d ($d = 1, \dots, l$) рівнях, вся n підсистем (на кожному рівні кількість підсистем може бути різною), що відповідають локальним станам, то одержимо n матриць A_i^d d -го рівня, які відносяться до цих

лінеаризованих підсистем, тобто A_i^d . При дослідженні i -ої підсистеми d -го рівня в j -му режимі ($j = 1, 2, \dots, I$) позначимо A_{ij}^d матрицю, що відповідає лінеаризованій підсистемі. До цих лінеаризованих i -х підсистем, що відповідають d -м рівням в j -х режимах (за умови існування і єдності рішення), можна застосувати матричний метод аналізу стійкості, розроблений для лінійних систем. Для цього кожній матриці A_{ij}^d необхідно одержати відповідні перетворення матриці B_{ij}^d .

Тепер можна сформулювати матричний критерій стійкості стосовно складних нелінійних ЛДСУ. Оскільки ми прийняли для дослідження стійкості ЛДС матричний метод, то його визначення доцільно змінити таким чином.

Визначення. Для того, щоб складна нелінійна ЛДС була асимптотично стійка, тобто всі лінеаризовані будь-які i -і підсистеми d -х рівнів j -х режимів, що відповідають локальним станам між керованими переходами, були асимптотично стійкі, необхідно і достатньо, щоб всі власні значення перетворених матриць коефіцієнтів B_{ij}^d (відповідних лінеаризованим підсистемам) були по модулю менші за одиницю, тобто лежали усередині одиничного круга з центром на початку координат.

Можливість виконання цієї умови стійкості можна встановити за фактом абсолютного зменшення всіх елементів матриць $B_{ij}^{d(k)}$, де k — степінь матриць, до якої необхідно їх звести. Більш стисло критерій стійкості для ЛДС сформулюємо таким чином: для того, щоб досліджувана ЛДС була асимптотично стійкою, необхідно і достатньо, щоб перетворені матриці коефіцієнтів $B_{ij}^{d(k)}$ (відповідні i -м підсистемам — локальним станам d -го рівня j -го режиму), тобто всі перетворені матриці i -х підсистем d -го рівня j -го режиму, прагнули до нульових матриць при $k \rightarrow \infty$:

$$B_{ij}^{d(k)} \xrightarrow[k \rightarrow \infty]{} 0, \text{ нуль-матриці,}$$

де

$$B_{ij}^{d(k)} = E + \frac{A_{ij}^{d(k)}}{R}.$$

Крім того, всі властивості матричних методів, розроблених для лінійних систем, безпосередньо застосовуються до лінеаризованих підсистем ЛДСУ.

Отже, матричний метод дослідження лінійних систем, пристосований до побудови машинних алгоритмів аналізу стійкості таких систем, можливо застосувати до складних нелінійних ЛДСУ в тому випадку, якщо при фіксованому ієрархічному рівні, фіксованому режимі і певному етапі проектування одержану єдину підсистему представити в нормальній формі Коші відповідно до її лінеаризованої моделі, тобто представити у вигляді

$$\begin{aligned} \frac{dx_1}{dt} &= L_1^F F_1 \bar{X}_1 + L_1^{G_1} G_1 \bar{U}_1, \\ &\dots\dots\dots \\ \frac{dx_n}{dt} &= L_n^{F_n} F_n \bar{X}_n + L_n^{G_n} G_n \bar{U}_n. \end{aligned} \quad (2.40)$$

Оскільки ця система є лінеаризованою, всі коефіцієнти при змінних в правій частині рівняння (2.40) відомі, їх можна позначати a_{ij} (A — матриця коефіцієнтів мірної $n \times n$). Якщо ця матриця описує i -у підсистему (тобто i -й етап проектування), що знаходиться на d -му рівні ієрархії j -го режиму, то вона записується таким чином: A_{ij}^d . З цієї матриці можна одержати перетворену матрицю B_{ij}^d . Якщо ця матриця належить визначеному рівню (I), етапу (II) і режиму (III), то одержана перетворена матриця B_{ij} нічим не відрізняється від перетвореної матриці B [63], тільки B_{ij}^i досліджується для визначених етапу, рівня і режиму в даному випадку; в іншому випадку вона матиме інше значення відповідного знаку. Ось чому для лінеаризованих і перетворених матриць типу B_{ij} , що відповідають підсистемам ЛДС, можливо застосовувати матричний метод стійкості, розроблений для лінійних систем.

Розробка алгоритму аналізу стійкості ЛДС, не дивлячись на необхідність апроксимації моделей досліджуваних ЛДС, забезпечує широку можливість застосування алгоритмів аналізу стійкості ЛДС, простоту отримання результатів за допомогою ЕОМ, можливість створення проблемно-орієнтованої бібліотеки стандартних програм, включно з прикладними програмами.

Принципи побудови алгоритмів дослідження стійкості КСУ ТП багатокрокового класу. Необхідність створення ефективних машинних алгоритмів аналізу стійкості складних нелінійних ЛДСУ було розглянуто вище. Підставою для цього твердження є положення, що витікають з особливостей ЛДСУ.

1.Проектування ЛДСУ розділяється на ієрархічні рівні, кожен з яких містить декілька етапів проектування (конструктивний, функціональний і композиційний). У свою чергу, рівень має безліч варіантів, і для розв'язання завдання оптимального управління необхідно обрати один з них шляхом дослідження безлічі варіантів, що вимагають дотримання суворості закону управління.

2.Через складність даного класу нелінійних ЛДСУ існуючі аналітичні методи — теорія гіперстійкості складних систем В. М. Попова і сучасна теорія лінійних систем Р. Калмана неприйнятні відповідно для цього класу.

3.Аналіз даного класу складних нелінійних ЛДСУ виявив існування надзвичайно великого обсягу обчислень при аналізі стійкості, причому виконання всіх необхідних обчислень вручну взагалі неможливе, і лише застосування швидкодіючих ЕЦОМ робить реальним рішення даної задачі в прийнятні терміни.

4.Аналіз і вивчення систем даного класу показав також існування достатньої кількості інформації про існуючу систему (точний опис математичної моделі), що дозволяє створити моделі машинних алгоритмів аналізу

стійкості і побудувати області стійкості згідно досліджуваних параметрів для даного класу систем.

5.Через складність класу нелінійних ЛДСУ багато існуючих машинних методів складно використовувати при створенні машинних алгоритмів аналізу стійкості у зв'язку з наявністю окремих особливостей матриць, які з'являються при обчисленні визначника високого порядку і приведення його до характеристичного полінома (метод Леверье). Тому тільки використання матричних методів дослідження складних лінійних систем дає можливість створити ефективні машинні алгоритми аналізу стійкості і побудови областей стійкості для класу складних систем з керованою структурою.

6.Сучасні можливості ПК — велика швидкість, великий об'єм пам'яті, існування зручних машинних мов, які набагато полегшують працю при складанні програм (виходячи із створених алгоритмів), і існування матричних методів аналізу стійкості складних лінійних систем — використовуються для створення машинних алгоритмів аналізу стійкості і побудови областей стійкості систем класу складних нелінійних ЛДСУ.

Таким чином, умови 2 і 3 створюють необхідні передумови для розробки машинних алгоритмів аналізу стійкості системи складних нелінійних багатокрокових ЛДСУ (з побудовою області стійкості по досліджуваних параметрах), а умови 4—6 дозволяють побудувати алгоритми дослідження з використанням матричних методів дослідження складних лінійних систем.

Крім того, ієрархічна структура логічної схеми проектування ЛДС, що складається з кількох рівнів (кожен рівень містить декілька етапів проектування), вимагає ієрархічної структури алгоритму стійкості ЛДС: від низу до верху — щодо рівнів (при відшукуванні рівня, що підлягає дослідженню) і етапів проектування, і зверху до низу — по відношенню до рівнів і етапів в рівнях при їх аналізі. Створений алгоритм повинен спочатку встановити, який рівень необхідно дослідити (пошук одного з

можливих рівнів починається з нижнього етапу — конструктивного), потім визначити всі варіанти, що підлягають дослідженню, і забезпечити чергове їх дослідження (черговість повинна задаватися у вигляді математичної моделі або таблиці).

Після закінчення дослідження всіх варіантів нижнього етапу має бути здійснено перехід до наступного етапу (функціонального). На цьому етапі теж необхідно визначити всі варіанти, які підлягають дослідженню, забезпечити черговість їх дослідження і перейти до наступного етапу (композиційного), виконати там всі ті роботи, що на попередніх етапах, і перейти до наступного рівня і т.д. Виходячи з складності побудови алгоритмів аналізу стійкості ЛДС, що витікає з складності досліджуваної системи, ми пропонуємо блоковий принцип моделювання при побудові машинних алгоритмів аналізу стійкості складних ЛДС.

Основні принципи побудови алгоритму аналізу стійкості багатокрокових ЛДСУ. Спираючись на сказане вище, наведемо основні одержані результати у вигляді певних вимог, щоб далі на їх основі показати можливість побудови операторної схеми загального вигляду і блок-схеми алгоритму аналізу стійкості і побудови областей стійкості досліджуваним параметрам складних ЛДСУ. Аналіз систем класу складних ЛДС [30] і методів їх дослідження [26, 63, 64], а також вивчення інших існуючих методів дослідження складних автоматичних систем [21, 57] і побудови алгоритмів аналізу стійкості автоматичних систем (об'єктів) дозволяють зробити певні висновки щодо принципів побудови алгоритмів аналізу стійкості і побудови областей стійкості по досліджуваних параметрах складних ЛДСУ.

1. Алгоритм повинен дозволяти вибір варіантів на ієрархічних рівнях проектування, тобто вибір варіанту, що підлягає дослідженню, починаючи вибір від низу до верху по відношенню до рівнів. У нашому випадку дослідження стійкості проводиться на другому ієрархічному рівні. На ієрархічних рівнях проектування діє оператор вищого рангу по

відношенню до етапів проектування (конструктивного, функціонального, композиційного) на цих рівнях.

2. Після вибору певного ієрархічного рівня проектування алгоритм повинен виконати вибір варіантів на «крайньому» етапі проектування (конструктивному) цього рівня, допускаючи впорядкування дослідження вибраних підсистем даного етапу.

3. Після вибору конкретної підсистеми «крайнього» етапу проектування (конструктивного) даного рівня проектування алгоритм повинен забезпечити отримання перетвореної матриці B по заданих матрицях A , якщо матриця A складена по коефіцієнтах підсистеми, і, якщо вона не складена, то алгоритм повинен забезпечити складання матриці A за допомогою відповідних розрахунків.

4. На основі одержаних матриць B алгоритм повинен дозволити здійснити аналіз стійкості даної підсистеми матричним методом [184]; якщо дана вибрана підсистема задовольняє критерій стійкості, то потрібно перейти до побудови області стійкості за досліджуваними параметрами, якщо вибрана підсистема нестійка — перейти до дослідження наступної вибраної з черги підсистеми «крайнього» етапу даного рівня проектування. Таким чином, процедура, описана в цьому пункті, продовжується по замкнутому циклу до тих пір, поки не будуть повністю досліджені всі варіанти підсистем на конструктивному етапі, задані конструктором або дослідником.

5. Після закінчення дослідження всіх варіантів конструктивного етапу алгоритм повинен здійснити перехід до наступного функціонального етапу і виконати всі операції, перераховані в п. 4, з тією різницею, що перехід після виявлення стійкості або нестійкості і після побудови області стійкості здійснюється до функціонального етапу, а не до конструктивного.

6. Після закінчення дослідження всіх варіантів функціонального етапу проектування алгоритм визначає перехід до наступного композиційного етапу даного рівня проектування і дозволяє на цьому етапі виконувати дослідження всіх варіантів вибраної підсистеми за принципами, перерахованими в п. 4 і 5.

Після закінчення дослідження всіх варіантів алгоритм повинен здійснити перехід до «крайнього» етапу (конструктивного) наступного рівня вищого рангу відносно дослідженого і т.д. Складність і велика трудовитратність процесу розробки алгоритму дослідження стійкості ЛДСУ вимагають раціональної організації цього процесу і забезпечення чітких взаємозв'язків між під-алгоритмами. Організацією процесу алгоритмізації на вищому рівні є операторна схема і граф-схема алгоритму. Укрупнена граф-схема (мережевий граф) алгоритму оператора, що організаційно упорядковує весь процес необхідних математичних операцій для аналізу стійкості і побудови областей стійкості складних ЛДСУ, наведена на рис. 2.5, де показано, що в колах позначені математичні і логічні дії (операції), що призводять до результатів (станів), а стрілками позначені переходи за логічних умов або після закінчення рахунку в даному циклі (перехід можливий при виконанні однієї логічної умови, на іншу логічну умову або на рахунок, а при закінченні рахунку одного масиву — на рахунок іншого масиву або на іншу логічну умову).

На основі досвіду розробки алгоритму аналізу стійкості і побудови областей стійкості складних ЛДСУ можна рекомендувати наступний порядок взаємодії основних математичних і логічних дій (алгоритмів):

- 1 — підалгоритм визначення ієрархічного рівня проектування (вибір варіантів);
- 2 — підалгоритм визначення (вибір) варіантів підсистем на «крайньому» (конструктивному) етапі проектування даного рівня;
- 3 — підалгоритм визначення (вибір варіантів) підсистеми на функціональному (на один ранг вище конструктивного) етапі проектування;
- 4 — підалгоритм визначення (вибір варіантів) підсистеми на композиційному етапі проектування (на ранг вищий функціонального);
- 5 — підалгоритм організації (обчислення) матриці систем A ;
- 6 — підалгоритм отримання перетвореної матриці B (по матриці A);
- 7 — підалгоритм аналізу стійкості матриці на основі матричного

методу аналізу стійкості;

7а — у разі стійкості — перехід до п. 8 (побудова області стійкості, якщо на це вказано) або перехід до початку логічної частини алгоритму, де обирається наступний варіант, що підлягає дослідженню, відповідний конструктивному (п. 2), функціональному (п. 3), композиційному (п. 4) етапам (якщо дослідження не закінчилися);

7б — у разі нестійкості — перехід до початку логічної частини алгоритму, якщо дослідження продовжується, і на останов (п. 9), якщо дослідження варіантів підсистем всіх етапів закінчилося;

8 — підалгоритм побудови областей стійкості;

9 — останов.

Після побудови області стійкості кожної підсистеми відповідного етапу здійснюється перехід до початку логічної частини алгоритму при продовженні варіантів дослідження на цих етапах і на останов, якщо досліджені всі варіанти.

Розробка алгоритмів, блок-схем алгоритмів і особливості їх застосування для КСУ ТП багатокрокового класу. Структура алгоритму. Алгоритм складається з двох основних частин: логічної і обчислювальної. Логічна частина визначає належність досліджуваної системи визначеному варіанту, етапу і рівню і передає управління на обчислювальну частину (програму лінеаризації нелінійних систем і отримання матриці у відповідному вигляді). Доцільність побудови логічної частини алгоритму в наведеній формі роз'яснюється далі. Обчислювальна частина алгоритму складається з підалгоритму лінеаризації і підалгоритму аналізу стійкості і побудови областей стійкості.

Виходячи з укрупненої граф-схеми і результатів, отриманих у процесі дослідження стійкості складних систем з використанням ЕОМ, і на основі багатьох робіт [63, 64] пропонується така збільшена операторна схема алгоритму:

$$A_I \overset{1}{\downarrow} A_{II} \overset{1}{\downarrow} A_{III} P_{IV} \overset{1}{\uparrow} A_V A_{VI},$$

де A_i — символ певних дій (оператора), $i = I, II, III, V, VI$; P_{IV} — логічна умова; A_I включає визначення коефіцієнтів рівняння високого ступеня, рішення цього рівняння, визначення значення решти невідомих щодо знайденого кореня; A_{II} визначає коефіцієнти при варійованих змінних; A_{III} перетворює матрицю A в матрицю B і підносить її до степеня; P_{IV} виконує перевірку стійкості матриці B ; якщо умова $|SpB| > n$ виконується і не всі корені досліджені, то відбувається перехід до оператора A_{II} , в іншому випадку перехід до оператора A_{III} ; якщо виконується умова $|b_{ij}^k| \leq \frac{1}{n}$, то здійснюється перехід до оператора A_V , в іншому випадку — до A_{III} . A_V виконує побудову області стійкості; A_{VI} — останов або оператор передає управління алгоритму перебору варіантів (алгоритму I).

Визначення стійкості багатокрокових КСУ ТП в локальних режимах функціонування. Виходячи з можливості застосування матричних методів аналізу стійкості, розроблених для лінійних систем до складних нелінійних ЛДСУ досліджуємо стійкість складних нелінійних ЛДСУ при використуванні розробленого алгоритму аналізу стійкості для ЛДС. Для цього необхідно виділити конкретну підсистему з можливих варіантів підсистем, що належать відомому досліджуваному етапу проектування на фіксованому рівні. Якщо відомо рівень ієрархії схеми проектування на цьому рівні, то можна досліджувати стійкість різних варіантів на даному етапі, починаючи з конструктивного (нижнього) етапу проектування. Згідно алгоритму (програми) це відбувається таким чином. Для кожного рівня, для кожного етапу проектування і для кожного варіанту на етапах виділяються (у програмі) окремі розряди спеціального осередку. У ті розряди осередку, які визначають належність рівню, етапу проектування і варіанту підсистеми на етапі, записуються одиниці, а в інші — нулі. Програмно визначається належність підсистеми до етапу дослідження.

Якщо підсистема даного етапу певного рівня не підлягає дослідженню, то аналізується наступна підсистема, якщо ж підлягає дослідженню, то відбувається передача управління на програму обчислення коефіцієнтів рівняння алгебри вищого порядку. Тому обрану підсистему треба підготувати, тобто лінеаризувати, щоб можна було для її аналізу застосовувати матричний метод аналізу стійкості. Для цього необхідно нелінійну систему рівнянь представити у вигляді рівнянь у варіаціях.

Для дослідження стійкості одержаної системи рівнянь у варіаціях із застосуванням матричних методів аналізу стійкості необхідно одержати з матриці A перетворену матрицю B . Про стійкість досліджуваної підсистеми уздовж вибраного шляху переходів, що належить конкретному етапу даного рівня проектування, судитимемо по абсолютному зменшенню кожного елементу матриці B (b_{ij}) після піднесення матриці B до квадрату декілька разів послідовно при $k \rightarrow \infty$. Умовою, яка дає гарантію, що абсолютно всі елементи матриці зменшуються, є така нерівність:

$$|b_{ij}| \leq \frac{1}{n},$$

де n — порядок матриці (кількість рівнянь).

Якщо підсистема обраного шляху переходів є стійкою, відбувається перехід до пошуку межі області і побудови області стійкості за потрібними параметрами, якщо потрібно будувати область стійкості. В іншому випадку перехід здійснюється до дослідження наступної підсистеми (наступного варіанту), що належить даному етапу проектування. Вказаним способом досліджують всі варіанти (підсистеми) на конструктивному етапі і потім переходять до дослідження наступного етапу (функціонального) даного рівня і т.д.

Побудова областей стійкості багатокрокових КСУ ТП. Основною метою побудови області стійкості є визначення такого діапазону зміни

параметрів, при якому система залишалася б стійкою і володіла заданими якісними характеристиками. З цією метою звичайно знаходять межу і будують область стійкості в просторі допустимих значень параметрів. Після побудови області стійкості можна виділити підобласті, в яких якісні характеристики перехідного процесу відповідають поставленим умовам, наприклад, області, в яких інтегральна оцінка не перевищує заданого значення; області із заданою величиною загасання, пере регулювання і т.д.

Розглянемо автоматичну систему $X = AX$, що має квадратну матрицю коефіцієнтів A порядку n . Нехай робота системи залежить від зміни параметрів $\mu_1, \mu_2, \dots, \mu_m$. Позначимо область допустимих значень цих параметрів $\Omega(\mu_1, \mu_2, \dots, \mu_m)$. Ставиться завдання відшукати таку підобласть $\omega \in \Omega$, щоб для точок $\mu_1, \mu_2, \dots, \mu_n \in \omega$ виконувалась умова $|\rho_i| < 1$ — стійкість для всіх $i = 1, 2, \dots, n$. Тут ρ_i , власні значення перетвореної матриці коефіцієнтів B . Для вирішення поставленої задачі розбиваємо простір параметрів сіткою точок і в кожному вузлі сітки обчислюємо матрицю A . Із матриці A одержуємо перетворену матрицю B ; знаходимо ступінь цієї матриці і аналізуємо кожен її елемент за критерієм стійкості за допомогою ЕОМ. Це відбувається таким чином. При фіксованому значенні одного параметра μ_1 , починаючи з найнижчої точки (нижня межа параметра), здійснюється рух вгору по вертикальних лініях сітки з наближенням до μ_2 приросту h (h — крок або відстань між двома вузлами в сітці). Якщо система в першій точці (μ_1, μ_2) нестійка, дається приріст і аналізується наступна точка $(\mu_1, \mu_2 + h)$ і т.д; $(\mu_1, \mu_2 + 2h)$, $(\mu_1, \mu_2 + 3h)$, доти пір, поки величина μ_2 не стане рівною наперед заданому значенню, що обмежує область природних значень, або не виявляється стійка точка. Якщо по першій вертикальній прямій не знайдена точка межі області стійкості, то рух починається з наступної найближчої вертикальної прямою зліва (або справа).

Такий спосіб виходу в область у ряді випадків пов'язаний із значною витратою машинного часу. З деякими методами спрямованого пошуку, наприклад градієнтним методом, методом перетину простору параметрів із застосуванням інтерполяцій, можна познайомитися в роботі [67]. Далі показаний вдосконалений спосіб пошуку межі шляхом розбиття простору параметрів сіткою точок, оскільки цей спосіб, напевно, легко алгоритмізується і програмується.

Побудова межі області. Виразимо алгоритм обходу межі області по Лоебу. Суть алгоритму полягає в наступному:

а) на площині параметрів μ_1, μ_2 зміна параметрів відбувається на сторонах квадрата і виконується в чотирьох напрямках: вгору, вниз, вліво, вправо;

б) у вершинах квадратів перевіряється виконання умови.

$$G(\mu_1, \mu_2) \leq l$$

Якщо після зміни кроку лінія обходу перетинає межу і виходить з області стійкості, то наступний крок обирається таким чином, щоб рух відбувався проти годинникової стрілки. Якщо ж після чергового кроку потрапляють з нестійкої області в стійку, то наступний крок робиться за годинниковою стрілкою. При кожному перетині кордону друкуються координати точок, розташованих у вершинах квадратів усередині області, де виконується умова $G(\mu_1, \mu_2) < l$. Виходячи з досвіду побудови області стійкості, пропонуємо наступний ефективний, на наш погляд, спосіб виходу на межу області і обходу межі області (у його основі метод Лоеба), який враховує додаткові умови вибору кроку і, крім того, дозволяє «обходити» області досить складних конфігурацій (якщо обраний крок достатньо малий для цих конфігурацій).

Вдосконалений спосіб пошуку і обходу межі. Якщо знайдено дві точки, одна з яких знаходиться усередині шуканої, а інша — поза областю, то, відправляючись потім з цієї точки, можна тим або іншим способом обійти весь контур. Для пошуку першої точки при виході на

межу області скористаємося методом розбиття сіткою, тільки з певною зміною при розбитті. З метою зменшення витрат машинного часу при збереженні надійного пошуку межі області пропонується такий метод розбиття сіткою площини двох параметрів. Крок по вертикальних лініях вгору має бути достатньо малим, щоб при пошуку першої точки не втратити область, якщо вона вузька (тобто не «переступити» — при більшому кроці). Крок по горизонтальних лініях зробити набагато більшим (у 20—100 разів), ніж крок по вертикальних лініях. Таким чином, треба рухатися по вертикальних лініях вгору «дрібними» кроками, починаючи з найнижчої точки вертикальної прямої до верхньої точки (у діапазоні зміни цих параметрів, обчислюючи по всіх вузлах сітки параметрів матрицю A з послідовною перевіркою виконання умови стійкості знайдених матриць після кожного зробленого кроку). Якщо аналіз стійкості одержаних матриць у всіх вузлах по першій вертикальній лінії покаже, що система нестійка, то необхідно робити крок більшим в 20—100 разів, ніж на вертикальній лінії, обчислювати матрицю і перевіряти виконання умови стійкості. В цьому випадку потрібно продовжувати рух вертикально вгору «дрібними» кроками і так пройти всі вертикальні лінії (у діапазоні зміни параметра, відкладеного по горизонталі). Якщо стійка точка не знайдена, то наступні вертикальні лінії повинні розташовуватися у середині між двома попередніми вертикальними паралельними лініями і необхідно продовжувати всі розрахунки і аналіз пошуку першої точки по нових вертикальних лініях, як і раніше. Практика показала, що такий спосіб розбиття сіткою різко скорочує витрати машинного часу порівнянно з першим методом розбиття сіткою.

Як критерій стійкості при пошуку першої точки і при подальшому обході межі області стійкості передбачається використання оцінки стійкості вигляду

$$|b_{ij}^{(k)}| \leq \frac{1}{n},$$

де b_{ij} — елементи матриці; n — порядок системи; k — показник ступеня матриці B .

Нестійкість матриці B встановлюється виконанням такої умови: $|SpB| \geq n$, тобто якщо порядок матриці по модулю перевищує порядок матриці B , то досліджувана точка в просторі припустимих значень параметрів не належить області асимптотичної стійкості.

Отже, для обходу межі області скористаємося алгоритмом Лоеба з певними доповненнями. Необхідно одночасно враховувати напрямок зробленого кроку і одержану умову (стійку або нестійку) і при їх спільному обліку робити вибір напрямку наступного кроку.

Наприклад, зробили крок вправо і опинилися в нестійкій області; тоді треба робити рух вгору. Якщо зробили крок вгору і потрапили в стійку область, то крок треба робити вправо; якщо в нестійку область, то — вліво. Якщо крок зробили вліво і потрапили в область стійкості, то крок треба робити вгору; якщо в нестійку, то — вниз. Якщо крок зробили вниз і потрапили в стійку область, то наступний крок треба зробити вліво; якщо в нестійку, то — вправо. Таким чином, одержано алгоритм пошуку першої точки для виходу на межу області і алгоритм обходу контура межі області.

Виявлення аварійних станів при дослідженні стійкості КСУ ТП. В процесі зробленого нами математичного експерименту з перевірки на стійкість підсистем системи з керованою структурою в різних режимах функціонування виявилось можливим поєднувати визначення стійкості або нестійкості з виявленням аварійних станів в системі.

Нами були підготовлені обидві підсистеми при виконанні відповідних умов, одержані рівняння вищого порядку, а всі решта обчислень, до отримання критерію стійкості або нестійкості, здійснено за допомогою алгоритму аналізу стійкості. При цьому ми звертали увагу на те, в якому

режимі знаходилися підсистеми (стійка при виконанні однієї умови і нестійка при виконанні умови, протилежної першій).

Після отримання результатів дослідження на стійкість, було вивчено структуру цих підсистем і виявилось, що стійка підсистема знаходиться в нормальному режимі роботи, а нестійка — в аварійному. Таким чином, в даному випадку дослідження допомогли знайти аварійний режим. Це, проте, не означає, що у всіх аварійних режимах система буває в нестійкому стані: можуть бути аварійні режими, коли система залишається в стійкому стані. Проте для практики виявлення такого аварійного режиму, при якому система опиняється в нестійкому стані є важливим. Це особливо важливо при первинному проектуванні об'єктів, коли межі зміни параметрів і структури системи не досліджені на реально діючих об'єктах в умовах їх експлуатації.

2.6 Прийняття рішень в розпливчастих умовах функціонування КСУ ТП

На практиці у багатьох випадках ухвалення рішень відбувається в таких умовах, коли цілі, обмеження і наслідки можливих дій точно не відомі. Для поводження з неточно відомими величинами звичайно застосовується апарат теорії вірогідності, а також методи теорії ухвалення рішень, теорії управління і теорії інформації. Таким чином, інтуїтивно приймається припущення, що неточність незалежно від її природи, може бути отождествлена з випадковістю. Це припущення, як нам здається, є спірним. На наше переконання, необхідно розрізняти *випадковість* (randomness) і *розпливчастість*, причому остання є основним джерелом неточності в багатьох процесах ухвалення рішень. Під розпливчастістю маємо на увазі той тип неточності, який пов'язаний з розпливчастими множинами, тобто з класами, в яких не можна визначити різку межу, що відділяє елементи, що належать даному класу від елементів, що не належать до нього. Наприклад, клас *зелених предметів* є розпливчата множина. Розпливчастими є також класи об'єктів, що характеризуються такими часто вживаними прикметниками,

як «великий», «маленький», «істотний», «значний», «важливий», «серйозний», «простий», «точний», «наближений» і т.п. Фактично більшість класів у реальному світі, на противагу поняттю класу або множини в математиці, не має чітких меж, які відділяють об'єкти, що входять в клас від об'єктів, що не входять до нього. У зв'язку з цим важливо відзначити, що в розмові між людьми розпливчасті твердження, типу: «Джон на декілька дюймів вищий за Джима», « x значно більше y », «У корпорації X прекрасні перспективи», «На фондовій біржі спостерігається різкий спад», - все ж таки несуть значну інформацію, не дивлячись на неточність виділених курсивом слів. Більше того, на наш погляд одна з основних відмінностей між людським інтелектом та «штучним інтелектом» ЕОМ полягає у тому, що, на відміну від сучасних комп'ютерів, люди мають здатність оперувати розпливчастими поняттями і виконувати розпливчасті інструкції.

У чому полягає відмінність між випадковістю і розпливчастістю? По суті, випадковість пов'язана з невизначеністю, що стосується належності або неналежності певного об'єкту до нерозпливчастої множини. Поняття ж розпливчастості стосується класів, в яких можуть бути різні градації ступеня належності, проміжні між повною належністю і неприналежністю об'єктів до даного класу.

Наприклад, розпливчате твердження «Корпорація X дотримується прогресивних поглядів» є неточним унаслідок розпливчатості виразу «прогресивні погляди». В той же час твердження «Вірогідність того, що корпорація X працює на збиток, рівна 0,8» містить інформацію про міру невизначеності щодо належності корпорації X до не розпливчастого класу корпорацій, що працюють на збиток. Аналогічно твердженню «Ступінь належності Джона до класу високих чоловіків рівна 0,7» є «невірогідним» твердженням щодо належності Джона до розпливчастого класу високих чоловіків, а твердження «Вірогідність того, що Джон одружиться протягом року рівна 0,7» — «вірогідна» твердження, яке характеризує невизначеність настання нерозпливчастої події (одруження). Ця відмінність призводить до

того, що математичні методи теорії розпливчастих множин абсолютно не схожі на методи теорії вірогідності. Вони у багатьох відношеннях простіші внаслідок того, що поняттю ступеня вірогідності в теорії вірогідності відповідає простіше поняття функції належності в теорії розпливчастих множин. Крім того, замість звичних операцій $a + b$ і $a \cdot b$, де a і b — дійсні числа, використовуються простіші операції $\text{Max}(a, b)$ і $\text{Min}(a, b)$. З цієї причини навіть в тих випадках, коли розпливчастість в процесі ухвалення рішень може бути представлена моделлю вірогідності, звичайно зручніше оперувати з нею методами теорії розпливчастих множин без залучення апарату теорії вірогідності.

Процеси прийняття рішень, в яких тим або іншим чином присутня розпливчастість, можуть вивчатися з різних точок зору [66, 67, 68]. У даній статті основна увага приділяється введенню трьох фундаментальних понять — розпливчатої мети, розпливчастого обмеження і розпливчастого рішення, а також дослідженню їх використання у багатокрокових процесах ухвалення рішень, в яких, цілі або обмеження можуть бути розпливчастими, а керована система може бути або детермінованою, або стохастичною, але не розпливчастою. Це, проте, не накладає істотних обмежень на можливість застосування концепцій і методів, описаних в подальших розділах. В цілому, під розпливчастою метою розуміють мету, яку можна описати як розпливчасту множину у відповідному просторі. Так, простим прикладом розпливчатої мети, пов'язаної з змінною x , може служити мета: « x повинно бути *істотно* більше за 100». З свого боку, обмеження « x повинно знаходитися приблизно в інтервалі 20—25» є простим прикладом розпливчастого обмеження. Джерелами розпливчатості в цих твердженнях є слова, виділені курсивом.

Менш тривіальним прикладом може бути детермінована система, що працює в дискретному часі і описана рівнянням стану $x_{n+1} = x_n + u_n$, $n = 0, 1, 2, \dots$,

де x_n і u_n позначають відповідно зміну стану і вхідну змінну у момент часу n і для простоти їх вважають значними. Розпливчасте обмеження, накладене на вхідну змінну, могло б тут мати вигляд $-1 \leq u_n \leq 1$, де хвиляста лінія під

символом означає «оператора розмиття», який переводить нерозпливчасту множину в приблизно рівну їй розпливчасту множину. В цьому випадку вираз $u_n \leq 1$ читається таким чином: « u_n повинно бути *приблизно* менше або рівне 1 », і результатом дії оператора розмиття буде переклад не розпливчастої множини $-1 \leq u_n \leq 1$, в розпливчасту множину $-1 \leq u_n \leq 1$.

Припустимо, що розпливчаста мета полягає в тому, щоб зробити x_3 приблизно рівним 5, починаючи з початкового стану $x_0=1$. В цьому випадку завдання полягає в знаходженні такої послідовності входів, u_0, u_1, u_2 , яка буде якомога точніше реалізувати визначену мету з урахуванням накладених обмежень на входи u_0, u_1, u_2 . Нижче ми детальніше розглянемо декілька характерних задач цього типу. Слід підкреслити, що в даній статті ми ставимо перед собою обмежену мету звернути увагу на завдання, що включають багатокрокові процеси ухвалення рішень в розпливчастих умовах, і запропонувати можливі шляхи їх розв'язання і зовсім не претендуємо на створення загальної теорії процесів ухвалення рішень, в яких розпливчастість і випадковість можуть входити найрізноманітнішими способами і у вигляді різних комбінацій. Зокрема, ми не займатимемося питанням про доповнення завдання ухвалення рішень поняттям розпливчастого алгоритму, яке може бути корисним в завданнях, що погано піддаються кількісному аналізу. Для зручності читача в наступному розділі дається короткий огляд основних властивостей розпливчастих множин.

Деякі визначення розпливчастих множин для КСУ ТП. Вцілому, розпливчаста множина є класом об'єктів, в якому немає різкої межі між тими об'єктами, які входять в цей клас, і тими, які в нього не входять. Точніше визначення може бути сформульовано таким чином.

Визначення. Хай $X = \{x\}$ — сукупність об'єктів (точок), що позначаються через x . Тоді *розпливчаста множина* A в X є сукупність впорядкованих пар

$$A = \{x, \mu_A(x)\}, \quad x \in X, \quad (2.41)$$

де $\mu_A(x)$ є ступенем належності x до A , а $\mu_A: X \rightarrow M$ — функція, що відображає X в просторі M , яке називається простором належності. Коли M містить тільки дві точки 0 і 1 , A є не розпливчастим і його функція належності співпадає з характеристичною функцією не розпливчатої множини.

У подальшому ми припускатимемо, що M є інтервалом $[0,1]$, причому 0 і 1 представляють відповідно нижчу і вищу ступені належності. У загальнішому випадку M може бути частково впорядкованою множиною і, зокрема, ґратами. Таким чином, наше основне припущення полягає у тому, що розпливчата множина, не дивлячись на нечіткість його меж, може бути *точно* визначена шляхом зіставлення кожного об'єкта з числом x , що лежить між 0 і 1 , яке представляє ступінь його належності до A .

Приклад. Нехай $X = \{0,1,2,\dots\}$ — сукупність невід'ємних чисел. В цьому просторі розпливчата множина A «декількох об'єктів» може бути визначено(суб'єктивно), скажемо, як набір упорядкованих пар

$A = \{(3;0,6), (4;0,8), (5;1,0)\}$, причому, в (2) перераховані тільки ті пари $(x, \mu_A(x))$, для яких $\mu_A(x)$ позитивне.

Зауваження. Слід зауважити, що в багатьох практичних ситуаціях функція належності μ_A повинна бути оцінена виходячи з часткової інформації про неї, наприклад такої, як значення, яких вона набуває на кінцевій множині опорних точок $x_1, \dots, x_N$. Коли A визначено таким чином неповністю — і, одже, приблизно, — ми будемо вважати, що воно частково визначене за допомогою «пояснювального прикладу». Завдання оцінки μ_A по відомій множині пар $(x_1, \mu_A(x_1)), \dots, (x_N, \mu_A(x_N))$ є завдання абстрагування — завдання, яке відіграє центральну роль в розпізнаванні образів.

Для раціонального запису було б зручно мати засіб для визначення того, що розпливчата множина A отримана з нерозпливчатої множини $\bar{A}$ за рахунок «розмиття» меж множини $\bar{A}$. Для цієї мети ми будемо використовувати хвилясту риску під символом (або символами), що

визначають $\bar{A}$. Наприклад, якщо A є множина дійсних чисел між 2 і 5, тобто $\bar{A} = \{x | 2 \leq x \leq 5\}$, то $A = \{x | 2 \leq x \leq 5\}$ є розпливчата множина дійсних чисел, які знаходяться приблизно між 2 і 5. Аналогічно $A = \{x | x = 5\}$ або просто 5 буде позначати множину чисел, приблизно рівних 5. Символ називатиметься оператором розмиття. Перейдемо тепер до визначення декількох основних понять, які знадобляться нам в наступних розділах.

Нормальність. Розмита множина A нормальна тоді і тільки тоді, коли $\sup_x \mu_A(x) = 1$, тобто супремум $\mu_A(x)$ на X рівняється одиниці. Розпливчата множина субнормальна, якщо вона не є нормальною. Непорожня субнормальна розпливчата множина може бути нормалізована діленням кожного $\mu_A(x)$ на величину $\sup_x \mu_A(x)$ (Розпливчата множина порожня тоді і тільки тоді, коли $\mu_A(x) \equiv 0$).

Носій. Носієм розпливчастої множини A є така множина $S(A)$, де $x \in S(A) \Leftrightarrow \mu_A(x) = 0$. Якщо $\mu_A(x) = \text{const}$ на $S(A)$, то A не розпливчає. Відзначимо, що нерозпливчата множина може бути субнормальною.

Рівність. Дві розпливчасті множини рівні (що записується як $A = B$) тоді і тільки тоді, коли $\mu_A = \mu_B$, тобто $\mu_A(x) = \mu_B(x)$ для всіх x в X .

(Надалі ми для спрощення запису будемо опускати аргумент x , коли рівність або нерівність має місце для всіх значень x в X .)

Включення. Розпливчата множина A міститься в розпливчастій множині B , або є підмножиною B (записується як $A \subset B$), тоді і лише тоді, коли $\mu_A \leq \mu_B$.

В цьому значенні розпливчата множина дуже великих чисел є множиною розпливчастої множини великих чисел.

Доповнення. Вважають, що A' є доповненням до A тоді і тільки тоді, коли $\mu_{A'} = 1 - \mu_A$. Наприклад, розпливчасті множини $A = \{\text{Високі люди}\}$ і $A' = \{\text{Невисокі люди}\}$ є доповненнями один до одного, якщо заперечення «НЕ» трактується як операція, замінюючи $\mu_A(x)$ на $1 - \mu_A(x)$ для кожного x в X .

Перетин. Перетин A і B позначається як $A \cap B$ і визначається як найбільша розпливчаста множина, що міститься як в A , так і у B . Функція належності для $A \cap B$ визначається такою рівністю:

$$\mu_{A \cap B}(x) = \text{Min}(\mu_A(x), \mu_B(x)), \quad x \in X, \quad (2.42)$$

де $\text{Min}(a, b) = a$, якщо $a \leq b$, і $\text{Min}(a, b) = b$, якщо $a > b$.

Якщо використовувати замість символу Min знак кон'юнкції $\wedge$, можна переписати умову (3) в простішому вигляді:

$$\mu_{A \cap B} = \mu_A \wedge \mu_B \quad (2.43)$$

Поняття перетину близько пов'язане з поняттям сполучного союзу «І». Так, якщо A — клас високих людей і B — клас повних людей, то $A \cap B$ — клас людей, які одночасно високі і повні.

Об'єднання. Поняття об'єднання множин подвійне поняттю перетину. Об'єднання A і B позначається як $A \cup B$ і визначається як найменша розпливчаста множина, що містить як A , так і B . Функція належності для $A \cup B$ визначається співвідношенням

$$\mu_{A \cup B}(x) = \text{Max}(\mu_A(x), \mu_B(x)) \quad x \in X, \quad (2.44)$$

де $\text{Max}(a, b) = a$, якщо $a \geq b$, і $\text{Max}(a, b) = b$, якщо $a < b$.

Використовуючи замість символу Max знак диз'юнкції $\vee$, можна записати умову (2.44) в більш простому вигляді:

$$\mu_{A \cup B} = \mu_A \vee \mu_B. \quad (2.45)$$

На відміну від перетину, операція об'єднання близько пов'язана з сполучником «АБО». Так, якщо множини A та B мають цей смисл, то $A \cup B = \{\text{Високі або Повні люди}\}$. Можна також відірізнати «або» в «жорсткому» значенні, відповідне операції (6), від «або» в «м'якому» значенні, відповідного сумі алгебри A і B , що позначається як $A \oplus B$ і визначається співвідношенням (2.48). Нескладно перевірити таку тотожність, яка пов'язує операції перетину і об'єднання:

$$A \cup B = (A' \cap B'). \quad (2.46)$$

Створення алгебри. Створення алгебри розпливчастих множин A до B позначається через AB і визначається рівністю

$$\mu_{AB}(x) = \mu_A(x)\mu_B(x), \quad x \in X. \quad (2.47)$$

Алгебраїчна сума. Сума алгебри A і B позначається через $A \oplus B$ і визначається рівністю

$$\mu_{A \oplus B}(x) = \mu_A(x) + \mu_B(x) - \mu_A(x)\mu_B(x) \quad (2.48)$$

Легко перевірити, що;

$$A \oplus B = (A'B')'. \quad (2.49)$$

Зауваження. Необхідно відзначити, що операції $\vee$ і $\wedge$ асоціативні і дистрибутивні по відношенню один до одного. У той же час операції $\cdot$ (твори) і $\oplus$ (суми) асоціативні, але не дистрибутивні. Помітимо також, що операція (твір) дистрибутивна по відношенню до об'єднання $\vee$, але не навпаки. Взагалі кажучи, такою властивістю володіє будь-яка операція $*$, монотонно неубуваюча по кожному з своїх аргументів. У символічному записі

$$\text{Якщо } b \geq b' \Rightarrow a * b \geq a * b' \text{ і } a \geq a' \Rightarrow a * b \geq a' * b,$$

то

$$a * (b \vee c) = (a * b) \vee (a * c).$$

Більшість одержаних нижче результатів залишається справедливо при заміні операції $\wedge$ на операцію $*$, яка є асоціативною і дистрибутивною щодо операції $\vee$.

Опуклість і угнутість. Хай A — розпливчата множина в просторі $X = R^n$. Тоді A є *опуклою* розпливчатою множиною в тому і лише в тому випадку, якщо його функція приналежності для кожної пари крапок x, y з X задовольняє нерівності

$$\mu_A(\lambda x + (1 - \lambda)y) \geq \min(\mu_A(x), \mu_A(y)) \quad (2.50)$$

для всіх $0 \leq \lambda \leq 1$. Відповідно A є *увігнутим*, якщо його доповнення A' опукло. Неважко показати, що якщо дві розпливчаті множини A і B опуклі, їх перетин $A \cap B$ також опукло. З другого боку, якщо A і B увігнуті, то увігнутим буде і їх об'єднання $A \cup B$.

Відношення. Розпливчате відношення R на прямому творі просторів $X \times Y = \{(x, y), x \in X, y \in Y\}$ є розпливчата множина в $X \times Y$, характеризуємо функцією приналежності μ_R , яка зіставляє кожній впорядкованій парі (x, y) її ступінь приналежності $\mu_R(x, y)$ до R . Загалом n -арне розпливчате відношення на декартовому творі $X = X_1 \times X_2 \times \dots \times X_n$ є розпливчата множина в X , описуване залежною від n змінних функцією приналежності $\mu_R(x_1, \dots, x_n), \quad x_i \in X_i, i = 1, \dots, n.$

Розпливчаті множини, породжувані відображенням.

Хай $f: X \rightarrow Y$ — відображення з $X = \{x\}$ у $Y = \{y\}$, причому образ елементу x позначається через $y = f(x)$, і хай A — розпливчата множина у просторі X . Тоді відображення f породжує розпливчата множина B в просторі Y з функцією приналежності, що задається співвідношенням

$$\mu_B(y) = \sup_{x \in f^{-1}(y)} \mu_A(x), \quad (2.60)$$

причому супремум береться по всім крапкам, які складають прообраз $f^{-1}(y)$ в X точки y .

Умовні розпливчаті множини. Розпливчата множина $B(x)$ в просторі $Y = \{y\}$ називається умовним по x , якщо його функція приналежності залежить від змінної x як від параметра. Ця залежність виражається записом $\mu_B(y|x)$. Припустимо, що областю зміни параметра x є простір X і при цьому кожному x з X відповідає розпливчата множина $B(x)$ в Y . Яким чином, ми маємо справу з відображенням з X в простір розпливчатих множин в Y , характеризуючий функцією $\mu_B(y|x)$. За допомогою цього відображення будь-яка задана розпливчата множина A в X породжує розпливчатую множину B в Y , визначуване співвідношенням.

$$\mu_B(y) = \sup_x \min(\mu_A(x), \mu_B(y|x)) \quad (2.61)$$

де μ_A і μ_B функції приналежності множин A і B відповідно. Використовуючи операції $\wedge$ і $\vee$, можна переписати умову в простішому вигляді;

$$\mu_B(y) = \vee_x (\mu_A(x) \wedge \mu_B(y|x)). \quad (2.62)$$

Відзначимо, що це співвідношення аналогічно — проте не еквівалентно—виразу для маргінального розподілу вірогідності сумісного розподілу двох випадкових змінних, причому $\mu_B(x|y)$ виконує роль, аналогічну умовному розподілу.

Розкладність. Хай $X = \{x\}$, $Y = \{y\}$ і хай C — розпливчата множина в просторі $Z=X \times Y$ з функцією приналежності $\mu_C(x, y)$. Тоді C називається *розкладним по X і Y* і лише в тому випадку, якщо C допускає уявлення $C=A \cap B$, або, що еквівалентне,

$$\mu_C(x, y) = \mu_A(x) \wedge \mu_B(y) \quad (2.63)$$

де A і B — розпливчаті множини з функціями приналежності $\mu_A(x)$ і $\mu_B(y)(x)$ відповідно. (Таким чином, A і B — циліндрові розпливчаті множини в Z .) Це визначення справедливе для розпливчатої множини, заданої в декартовому творі будь-якого кінцевого числа простору.

Вірогідність розпливчатих подій. Хай P — міра вірогідності в R^n , *Розпливчата подія* A в R^n визначається як розпливчата підмножина A простору R^n , функція приналежності якого, μ_A , вимірювальна. *Вірогідність* події A задається інтегралом Лебега — Стілтєса:

$$P(A) = \int_{R^n} \mu_A(x) dP. \quad (2.64)$$

Інакше кажучи, $P(A)=E \mu_A$, де E — оператор математичного очікування. У разі нормального не розпливчатої множини (2.64) зводиться до загального визначення вірогідності випадкової події.

Цим закінчується коротке введення в основні поняття теорії розпливчастих множин. В наступних розділах ці поняття будуть використані в якості основи для важливих визначень мети, обмеження і рішення в умовах «розпливчатості».

Розпливчаті цілі, обмеження і рішення КСУ ТП

В загальноприйнятому підході головними елементами процесу ухвалення рішення є: а) множина альтернатив, б) безліч обмежень, які

необхідно враховувати при виборі між різними альтернативами, і в) функція переваги, ставляча кожній альтернативі у відповідність виграш (або програш), який буде одержаний в результаті вибору цієї альтернативи. При розгляді цього процесу із загальніших позицій ухвалення рішень в розпливчатих умовах природної представляється інша логічна схема, найважливішою межею якої є симетрія по відношенню до цілей і обмежень. Ця симетрія усуває відмінності між цілями і обмеженнями і дозволяє досить просто сформулювати на їх основі рішення. Дійсно, хай $X = \{x\}$ задана множина альтернатив. Тоді *розпливчата мета*, або просто *мета*, G ототожнюватиметься з фіксованим розпливчатою множиною G в X . Наприклад, якщо $X = R^1$ (дійсна пряма), а розпливчата мета формулюється як « x повинне бути значно більше 10», то її можна уявити як розпливчату множину в R^1 з функцією приналежності, що має, скажем, такий вигляд:

$$\mu_G(x) = \begin{cases} 0 & x < 10, \\ \left(1 + (x - 10)^{-2}\right)^{-1}, & x \geq 10. \end{cases} \quad (2.65)$$

Аналогічно меті « x повинне бути в околиці 15» може бути поставлено у відповідність розпливчату множину з функцією приналежності

$$\mu_G(x) = (1 + (x - 15)^4)^{-1}. \quad (2.66)$$

Відзначимо, що обидві ці множини опуклі в значенні.

При звичному підході функція переваги, використовувана в процесі ухвалення рішення, служить для встановлення лінійної впорядкованості на безлічі альтернатив. Очевидно, що функція приналежності $\mu_G(x)$ розпливчатій меті виконує ту ж задачу і, звичайно, може бути одержана з функції переваги за допомогою нормалізації, що зберігає встановлену лінійну впорядкованість. По суті, така нормалізація приводить до спільного знаменника різні цілі і обмеження і дозволяє, таким чином, поводитися з ними однаковим чином. Як ми побачимо, це є важливим аргументом на користь того, щоб як один з основних компонентів в логічній схемі ухвалення рішень в розпливчатих умовах користуватися поняттям мети, а не функції переваги.

Подібним же чином *розпливчате обмеження*, або *просте обмеження*, C в просторі X визначається як деяка розпливчата множина в X . Наприклад, у разі $X = R^1$ обмеження « x повинне знаходитися приблизно в діапазоні 2—10» може бути представлено розпливчатою множиною з функцією приналежності, скажімо, вигляду:

$$\mu_G(x) = (1 + a(x - 6)^m)^{-1},$$

де a — позитивне число і m — парне позитивне число, вибране так, щоб передати значення, в якому слід розуміти «наближення» до інтервалу $[2, 10]$. Якщо, зокрема, покласти $m=4$ і $a = 5^{-4}$, то в точках $x = 2$ і $x=10$ функція приналежності рівна $\mu_G(x) = 0.71$ тоді як при $x = 1$ і $x = 11$ $\mu_G(x) = 0.5$, а при $x = 0$ і $x = 12$ $\mu_G(x) = 0.32$

Важливим аспектом приведених вище визначень є те, що і мета і обмеження розглядаються як розпливчаті множини в просторі альтернатив; це, як буде показано нижче, дає можливість не робити між ними відмінності при формуванні рішення. У протилежність цьому при традиційному підході до ухвалення рішень безліч обмежень вважається не розпливчатою множиною в просторі альтернатив X , тоді як функція переваги є функцією переходу з X в деякий інший простір. Але навіть і в цьому випадку використання множників Лагранжа і штрафних функцій робить очевидним існування деякої внутрішньої схожості між функціями переваги і обмеженнями. Це схожість — а насправді тотожність — стає абсолютно природним при нашому формулюванні.

Дійсно, припустимо, наприклад, що розпливчата мета G і розпливчате обмеження C заданий наступним чином:

G : x повинно бути значно більше 10 і

C : x повинно бути в межах 15.

$[\mu_G(x) \text{ і } \mu_C(x)]$ задаються відповідно формулами. Зауважимо що мета G і обмеження C з'єднані між собою союзом «І» причому, як було вказано в розділі 2, «І» відповідає перетину розпливчатих множин. Це означає, що в розглянутому прикладі сукупність впливу розпливчатої мети G і

розпливчатого обмеження C на вибір альтернатив може бути представлено перетином $G \cap C$. Функція приналежності для перетину задається відношенням

$$\mu_{G \cap C}(x) = \mu_G(x) \wedge \mu_C(x)$$

або, в розгорнутій формі,

$$\mu_{G \cap C}(x) = \begin{cases} \text{Min}((1 + (x - 10)^{-2})^{-1}, (1 + (x - 15)^4)^{-1}) & \text{для } x \geq 10, \\ 0 & \text{для } x < 10. \end{cases}$$

Відзначимо, що в силу випуклості розпливчатих множин G і C множина $G \cap C$ також є випуклою. Звернемося тепер до поняття *рішення*. Інтуїтивно ясно, що *рішення* — це по суті вибір однієї або декількох з наявних альтернатив. Попередній приклад наводить на думку, що *розпливчате рішення*, або просте *рішення*, слід визначити як розпливчату множину в просторі альтернатив, що виходить в результаті перетину заданих цілей і обмежень. Наступне визначення уточнює цю думку.

В и з н а ч е н н я. Хай в просторі альтернатив X задані розпливчата мета G і розпливчате обмеження C . Тоді розпливчата множина D , утворювана перетином G і C , називається *рішенням*. У символічній формі

$$D = G \cap C \quad (2.67)$$

і відповідно $\mu_D = \mu_G \wedge \mu_C$.

В загальнішому випадку, якщо є n цілей і m обмежень, то результуюче рішення визначається перетином всіх заданих цілей і обмежень, тобто

$$D = G_1 \cap G_2 \cap \dots \cap G_n \cap C_1 \cap C_2 \cap \dots \cap C_m \quad (2.68)$$

і відповідно

$$\mu_D = \mu_{G_1} \wedge \mu_{G_2} \wedge \dots \wedge \mu_{G_n} \wedge \mu_{C_1} \wedge \mu_{C_2} \wedge \dots \wedge \mu_{C_m}. \quad (2.69)$$

Помітимо, що в приведеному визначенні розпливчатого рішення мети і обмеження входять у вираз для D абсолютно однаковим чином, що і доводить твердження про тотожність цілей і обмежень в сформульованій нами логічній схемі процесів ухвалення рішень в розпливчатих умовах.

Зауваження. Визначення рішення як перетини цілей і обмежень відповідає розумінню союзу «I» в «жорсткому» значенні формули (4). Якщо питання про інтерпретацію союзу «I» залишається відкритим, ми говоритимемо, що рішення — розпливчата множина — є злиттям *цілей* і обмежень. Таким чином, «злиття» придбає значення «перетину» або «твору алгебри» залежно від інтерпретації союзу «I» в значенні (4) або (8); крім того, йому може бути приписане яке-небудь інше конкретне значення, якщо виникає необхідність в спеціальній інтерпретації союзу «I». Коротко узагальнене визначення можна сформулювати таким чином: *Рішення = Злиття цілей і обмежень.*

В якості ілюстрації до співвідношення (2.69) розглянемо простий приклад, в якому $X = \{1, 2, \dots, 10\}$, а G_1, G_2, C_1 і C_2 визначаються табл. 1. (Додаток) Утворюючи кон'юнкцію $\mu_{G_1}, \mu_{G_2}, \mu_{C_1}, \mu_{C_2}$, одержимо таблицю значень для $\mu_D(x)$ (табл. 2). (Додаток)

Рішення в цьому випадку є розпливчата множина

$$D = \{(2; 0,1), (3; 0,4), (4; 0,7), (5; 0,8), (6; 0,6), (7; 0,4), (8; 0,2)\}.$$

Зауважимо, що жодне x з X не належить рішенню D повністю (тобто із ступенем приналежності рівної 1). Це, звичайно, є слідством того, що задані цілі і обмеження вступають в конфлікт один з одним, виключаючи тим самим можливість існування альтернативи, яка б повністю їм всім задовольняла.

Поняття рішення як розпливчатої множини в просторі альтернатив може спочатку показатися дещо штучним. Насправді воно досконале природно, оскільки розпливчате рішення може розглядатися як деяка «інструкція», розпливчатість якої є слідством неточності формулювання поставлених цілей і обмежень. Так, в приведеному прикладі G_1, G_2, C_1 і C_2 могли б бути виражені наступними фразами: « x слід узяти близьким до 5», « x слід узяти близьким до 3», « x слід узяти близьким до 4», « x слід узяти близьким до 6». Тоді рішення полягає у тому, що «слід узяти» « x ,

близьке до 5». При цьому точне значення слова «близько» визначається у кожному випадку значенням відповідної функції приналежності.

Як слід виконувати розпливчаті інструкції типу «х слід узяти близьким до 5»? Хоча на питання такого типу не представляється можливим дати універсальну відповідь), в багатьох випадках все ж таки розумно вибрати ті альтернативи, які мають максимальний ступінь приналежності до D . В нашому прикладі цьому відповідає $x = 5$.

У загальному випадку прийемо, що D — розпливчате рішення з функцією приналежності μ_D . Хай K — безліч тих точок в X , в яких функція μ_D досягає максимуму (якщо він існує). Тоді не розпливчате, але, взагалі кажучи, субнормальна підмножина D^M з D , визначуване умовами

$$\mu_{D^M}(x) = \begin{cases} \text{Max} \mu_D(x) & \text{для } x \in K, \\ 0 & \text{для інших } x, \end{cases}$$

називатиметься *оптимальним рішенням*, а кожне x з носія множини D^M — *максимізуючим рішенням*. Іншими словами, рішення, що максимізує — це будь-яка альтернатива в просторі X , яка максимізує функцію $\mu_D(x)$ (скажімо, як $x = 5$ в попередньому прикладі). Відзначимо, що в R^n достатньою умовою єдиності рішення, що максимізує, є сильна опуклість розпливчатої множини D , тобто опуклість D і наявність у нього унімодальної функції приналежності.

У визначенні розпливчатого рішення D як перетини або, в загальнішому значенні, як злиття цілей і обмежень мається на увазі, що ті, що всі входять в D цілі і обмеження мають в деякому розумінні однакову важливість. Проте зустрічаються ситуації, в яких деякі цілі і, можливо, деякі обмеження є важливішими, ніж інші. У таких випадках рішення D може бути виражене опуклою комбінацією цілей і обмежень з ваговими коефіцієнтами, що характеризують відносну важливість складових елементів. Таким чином, $\mu_D(x)$ може бути записане у вигляді

$$\mu_D(x) = \sum_{i=1}^n \alpha_i(x) \mu_{G_i}(x) + \sum_{j=1}^m \beta_j(x) \mu_{C_j}(x), \quad (2.70)$$

де α_i і β_j — функції приналежності, такі, що

$$\sum_{i=1}^n \alpha_i(x) + \sum_{i=1}^m \beta_i(x) \equiv 1.$$

З урахуванням цього обмеження функції $\alpha_i(x)$ і $\beta_j(x)$ можуть бути підібрані так, щоб передавати відносну важливість цілей $G_1, G_2, \dots, G_n$ і обмежень $C_1, C_2, \dots, C_m$. Зокрема, якщо $m=n=1$, неважко перевірити, що з виразу (2.70) можна одержати будь-яку розпливчату множину, що міститься в $G \cup C$ і включаючи $G \cap C$. Відзначимо, що формула (2.70) нагадує відомий спосіб зведення векторного критерію до скалярного за допомогою утворення лінійної комбінації компонент векторної функції мети.

Дотепер ми обмежувалися розглядом ситуацій, в яких цілі і обмеження є розпливчатыми множинами в просторі альтернатив X . *Практичний* інтерес представляє загальніший випадок, коли цілі і обмеження — розпливчаті множини в різних просторах. Хай f — відображення з $X = \{x\}$ у $Y = \{y\}$, причому змінній x позначена вхідна дія (причина), а змінною y — відповідний вихід (слідство).

Припустимо, що цілі задані як розпливчаті множини $G_1, G_2, \dots, G_n$ в Y , тоді як обмеження розпливчаті множини $C_1, C_2, \dots, C_m$ в просторі X . Маючи розпливчату безліч G_i в Y , можна знайти розпливчату безліч $\bar{G}_i$ в X , яке індукує G_i в Y . Функція приналежності $\bar{G}_i$ задається рівністю

$$\mu_{\bar{G}_i}(x) = \mu_{G_i}(f(x)), \quad i = 1, \dots, n \quad (2.71)$$

Після цього рішення D може бути виражене перетином множин $\bar{G}_1, \bar{G}_2, \dots, \bar{G}_n$ і $C_1, C_2, \dots, C_m$. Використовуючи співвідношення (2.71), можна записати $\mu_D(x)$ в розгорненому вигляді:

$$\mu_D(x) = \mu_{\bar{G}_1}(f(x)) \wedge \dots \wedge \mu_{\bar{G}_n}(f(x)) \wedge \mu_{C_1}(x) \wedge \dots \wedge \mu_{C_m}(x), \quad (2.72)$$

де $f: X \rightarrow Y$. Таким чином, випадок, коли цілі і обмеження задаються як розпливчаті множини в різних просторах, може бути зведений до випадку, коли вони задаються в одному і тому ж просторі. Співвідношення (2.72) є вельми корисним при аналізі багатокрокових процесів ухвалення рішень.

Багатокрокові процеси прийняття рішень КСУ ТП

Як додаток введених в попередніх розділах понятті ми розглянемо декілька основних типів завдань, пов'язаних з багатокроковим ухваленням рішень в розпливчатих умовах. Необхідно, однак, підкреслити, що основна задача подальшого викладу — ілюстрація понять розпливчатих цілей, обмежень і рішень на ряду прикладів, а не розвиток загальної теорії багатокрокових процесів прийняття рішень, в які тим або іншим чином входить розпливчатість. Для простоти припускатимемо, що управляюча система A є інваріантною за часом детермінованою системою з кінцевим числом станів. Саме, кожен стан x_t , в якому система A знаходиться у момент часу t , $t = 0, 1, 2, \dots$, належить заданій кінцевій множині можливих станів $X = \{\sigma_1, \dots, \sigma_n\}$; При цьому що має місце у момент t вхідний сигнал $u(t)$ є елементом множини $U = \{\alpha_1, \dots, \alpha_m\}$. Еволюція системи в часі описується рівнянням стану

$$x_{t+1} = f(x_t, u_t), \quad t = 0, 1, 2, \dots \quad (2.73)$$

в якому f задана функція, що відображає $X \times U$ в X . Таким чином, $f(x_t, u_t)$ представляє собою наступний стан для x_t при вхідному сигналі u_t . Якщо f є випадковою функцією, то A стохастична система, стан якої в момент $t+1$ характеризується розподілом вірогідностей $P(x_{t+1}|x_t, u_t)$ на X , умовним по x_t і u_t . Аналогічно якщо f – розпливчата функція, то A є *розпливчатою* системою [21], стан якої в момент $t+1$ є умовне по x_t і u_t розпливчата множина, що характеризується функцією приналежності виду $\mu(x_{t+1}|x_t, u_t)^1$. Оскільки подібні системи в подальших розділах розглядатися не будуть, то функція f вважатиметься не розпливчатою, якщо тільки особливо не обумовлене осоружне.

Передбачається, що в кожен момент часу t на вхідну змінну накладено розпливчате обмеження C^t , що є розпливчатою множиною в U з функцією приналежності $\mu_t(u_t)$. Крім того, вважається, що мета — розпливчата

множина G^N в X , визначуване функцією приналежності $\mu_{G^N}(x_N)$, де N час закінчення процесу.

При узагальненому аналізі КСУ основна увага приділяється розгляду основних інформаційних потоків у системі, формуванню первинних сигналів _ з об'єкта управління і формуванню управлінських впливів. У кожній з підсистем КСУ, на виходах і входах об'єкта управління здійснюється перетворення речовини, енергії й інформації у вхідні і вихідний інформаційні потоки, а також перетворення вихідної керуючої інформації в реальні фізичні впливи на об'єкт керування і навколишнє середовище.

Поділ КСУ на управлінську й інформаційну підсистеми дозволяє порушити питання про розробку узагальненого методу формування інформаційних підсистем КСУ, сукупність яких може розглядатися як єдина система обробки інформації й ухвалення рішення. Нижче розглядається узагальнене дерево функцій автоматизованої системи управління технологічними процесами.

Дерево функцій автоматизованої системи управління технологічними процесами (КСУ ТП)

I рівень

F^0 — цільове призначення КСУ ТП.

II рівень

$$\left\{ \begin{array}{l} F^1 - \text{прийом вихідної інформації,} \\ F^0 \quad F^2 - \text{організація управління технологічними процесами,} \\ F^3 - \text{реалізація управління.} \end{array} \right.$$

III рівень

$$\left\{ \begin{array}{l} F_1^1 - \text{введення вихідної інформації,} \\ F_1^1 F_2^1 - \text{первинна обробка вихідної інформації,} \\ F_3^1 - \text{вторинна обробка вихідної інформації.} \end{array} \right.$$

$$\left\{ \begin{array}{l} F_1^2 - \text{побудова моделей ТП,} \\ F_2^2 - \text{аналіз стану ТП,} \\ F_1^2 F_3^2 - \text{ухвалення рішення про управління ТП} \end{array} \right.$$

$$\left\{ \begin{array}{l} F_1^3 - \text{формування і відтворення управлінським впливом,} \\ F_1^3 F_2^3 - \text{представлення інформації про ТП,} \end{array} \right.$$

IV рівень

$$\left\{ \begin{array}{l} F_{1.1}^1 - \text{збір поточної інформації з зовнішніх пристроїв,} \\ F_1^1 F_{1.2}^1 - \text{надходження інформації з зовнішніх пристроїв,} \end{array} \right.$$

$$\left\{ \begin{array}{l} F_{2.1}^1 - \text{контроль і забезпечення вірогідності вихідної інформації,} \\ F_2^1 F_{2.2}^1 - \text{організація функціонування інформаційної системи,} \end{array} \right.$$

$$\left\{ \begin{array}{l} F_{3.1}^1 - \text{визначення показників процесу,} \\ F_3^1 F_{3.2}^1 - \text{визначення характеристик процесу} \end{array} \right.$$

$$\left\{ \begin{array}{l} F_{1.1}^2 - \text{побудова статистичних моделей ТП,} \\ F_1^2 F_{1.2}^2 - \text{побудова динамічних моделей ТП,} \end{array} \right.$$

$$\left\{ \begin{array}{l} F_{2.1}^2 - \text{аналіз технологічних ситуацій,} \\ F_2^2 \quad F_{2.2}^2 - \text{оперативний облік,} \end{array} \right.$$

$$\left\{ \begin{array}{l} F_{3.1}^2 - \text{оперативне планування ходу ТП,} \\ F_3^2 \quad F_{3.2}^2 - \text{оперативно-диспетчерське управління ТП.} \end{array} \right.$$

$$\left\{ \begin{array}{l} F_{1.1}^3 - \text{позиційне управління,} \\ F_{1.2}^3 - \text{програмне і логічне управління,} \\ F_1^3 \quad F_{1.3}^3 - \text{динамічне неперервне управління,} \\ F_{1.4}^3 - \text{оптимальне і адаптивне управління.} \end{array} \right.$$

$$\left\{ \begin{array}{l} F_{2.1}^3 - \text{сигналізація подій,} \\ F_{2.2}^3 - \text{вивід інформації з запиту оператора,} \\ F_2^3 \\ F_{2.3}^3 - \text{попереджувальна й аварійна сигналізація,} \\ F_{2.4}^3 - \text{обмін повідомленнями.} \end{array} \right.$$

V рівень

$$\left\{ \begin{array}{l} F_{1.1.1}^1 - \text{збір інформації з датчиків аналогових сигналів,} \\ F_{1.1}^1 \quad F_{1.1.2}^1 - \text{збір інформації з датчиків позиційних сигналів,} \\ F_{1.1.3}^1 - \text{збір інформації з датчиків число-імпульсних сигналів.} \end{array} \right.$$

$$\left\{ \begin{array}{l} F_{1.2.1}^1 - \text{надходження інформації з пульта ручного введення,} \\ F_{1.2.2}^1 - \text{надходження інформації з зовнішніх носіїв інформації,} \\ F_{1.2}^1 \\ F_{1.2.3}^1 - \text{надходження інформації з пристроїв телепередач даних ,} \\ F_{1.2.4}^1 - \text{надходження інформації з екрана відеотерміналу.} \end{array} \right.$$

$$\left\{ \begin{array}{l} F_{2.1.1}^1 - \text{фільтрація вхідних сигналів,} \\ F_{2.1}^1 \quad F_{2.1.2}^1 - \text{обробка даних іспитів і аналізів,} \\ F_{2.1.3}^1 - \text{масштабування та коректування сигналів.} \end{array} \right.$$

$$\left\{ \begin{array}{l} F_{2.2.1}^1 - \text{динамічна корекція сигналів,} \\ F_{2.2}^1 \quad F_{2.2.2}^1 - \text{формування інформаційної бази КСУ ТП,} \\ F_{2.2.3}^1 - \text{екстра і інтерполяція вимірювальних сигналів.} \end{array} \right.$$

$$\left\{ \begin{array}{l} F_{3.1.1}^1 - \text{усереднення параметрів,} \\ F_{3.1}^1 \quad F_{3.1.2}^1 - \text{розрахунок найпростіших показників,} \\ F_{3.1.3}^1 - \text{визначення техніко-економічних показників.} \end{array} \right.$$

$$\left\{ \begin{array}{l} F_{3.2.1}^1 - \text{визначення статистичних характеристик,} \\ F_{3.2}^1 \quad F_{3.2.2}^1 - \text{визначення динамічних характеристик,} \\ F_{3.2.3}^1 - \text{розрахунок статистичних характеристик.} \end{array} \right.$$

$$\left\{ \begin{array}{l} F_{1.1.1}^2 - \text{відтворення статистичних моделей ТП,} \\ F_{1.1}^2 \\ F_{1.1.2}^2 - \text{настроювання та корекція статистичних моделей ТП.} \end{array} \right.$$

$$\left\{ \begin{array}{l} F_{1.2.1}^2 - \text{відтворення динамічних моделей ТП,} \\ F_{1.2}^2 \\ F_{1.2.2}^2 - \text{настроювання та корекція динамічних моделей ТП.} \end{array} \right.$$

$$\left\{ \begin{array}{l} F_{2.1.1}^2 - \text{надходження інформації з пульту ручного введення,} \\ F_{2.1.2}^2 - \text{надходження інформації з зовнішніх носіїв інформації,} \\ F_{1.2}^2 \quad F_{2.1.3}^2 - \text{надходження інформації з пристроїв телепередач даних,} \\ F_{2.1.4}^2 - \text{надходження інформації з екрана відео терміналу,} \\ F_{2.1.5}^2 - \text{виведення подій,} \\ F_{2.1.6}^2 - \text{оцінка стану робітничих середовищ і устаткування,} \\ F_{2.1.7}^2 - \text{діагностика інформаційних каналів.} \end{array} \right.$$

$$\left\{ \begin{array}{l} F_{2.2.1}^2 - \text{облік сировини, матеріалів і енергії,} \\ F_{2.2.2}^2 - \text{облік продукції, що випускається,} \\ F_{2.2}^2 \quad F_{2.2.3}^2 - \text{визначення працездатності та ремонтпридатності} \\ \text{устаткування,} \\ F_{2.2.4}^2 - \text{облік часу роботи устаткування,} \\ F_{2.2.5}^2 - \text{оцінка оперативної діяльності персоналу,} \\ F_{2.2.6}^2 - \text{організація функції оперативного обліку.} \end{array} \right.$$

$$\left\{ \begin{array}{l} F_{3.1.1}^2 - \text{облік нормативних витрат сировини, енергії й устаткування,} \\ F_{3.1.2}^2 - \text{узгодження продуктивності виробничих підсистем,} \\ F_{3.1}^2 \quad F_{3.1.3}^2 - \text{техніко-економічне планування роботи,} \\ F_{3.1.4}^2 - \text{планування складу устаткування,} \\ F_{3.1.5}^2 - \text{організація ремонтів устаткування.} \end{array} \right.$$

$$\left\{ \begin{array}{l} F_{3.2.1}^2 - \text{диспетчеризація процедур обробки інформації,} \\ F_{3.2}^2 \quad F_{3.2.2}^2 - \text{визначення оптимальної дисципліни обслуговування заявок} \\ \text{на управління.} \end{array} \right.$$

$$\left\{ \begin{array}{l} F_{1.1.1}^3 - \text{включення і виключення технологічного устаткування,,} \\ F_{1.1}^3 \\ F_{1.1.2}^3 - \text{позиційне автоматичне регулювання.} \end{array} \right.$$

$$\left\{ \begin{array}{l} F_{1.2.1}^3 - \text{послідовне, часове програмне управління,} \\ F_{1.2}^3 \\ F_{1.2.2}^3 - \text{ситуаційне управління.} \end{array} \right.$$

$$\left\{ \begin{array}{l} F_{1.3.1}^3 - \text{полі зв'язкове цифрове управління,} \\ F_{1.3.2}^3 - \text{комбіноване цифрове управління,} \\ F_{1.3}^3 \quad F_{1.3.3}^3 - \text{відтворення управлінських впливів,} \\ F_{1.3.4}^3 - \text{настроювання пристроїв управління.} \end{array} \right.$$

$$\left\{ \begin{array}{l} F_{1.4.1}^3 - \text{статистична оптимізація режимів роботи агрегатів,} \\ F_{1.4}^3 \quad F_{1.4.2}^3 - \text{оптимальний розподіл навантаження між агрегатами,} \\ F_{1.4.3}^3 - \text{оптимальне динамічне управління процесом.} \end{array} \right.$$

$$\left\{ \begin{array}{l} F_{2.1.1}^3 - \text{попереджувальна й аварійна ситуація,} \\ F_{3.1}^3 \\ F_{2.1.2}^3 - \text{сигналізація стану устаткування.} \end{array} \right.$$

$$\left\{ \begin{array}{l} F_{2.2.1}^3 - \text{виведення інформації на цифрові прилади,} \\ F_{2.2}^3 \quad F_{2.2.2}^3 - \text{виведення інформації на відеотермінали,} \\ F_{2.2.3}^3 - \text{виведення інформації на друкувальні пристрої.} \end{array} \right.$$

$$\left\{ \begin{array}{l} F_{2.3.1}^3 - \text{виведення звітної алфавітно-цифрової інформації про хід} \\ \text{процесу,} \\ F_{2.3}^3 \quad F_{2.3.2}^3 - \text{реєстрація перед аварійних і аварійних ситуацій,} \\ F_{2.3.3}^3 - \text{реєстрація подій у нормальному режимі.} \end{array} \right.$$

$$\left\{ \begin{array}{l} F_{2.4.1}^3 - \text{формування різних повідомлень,} \\ F_{2.4}^3 \quad F_{2.4.2}^3 - \text{обслуговування інформаційно-довідкової системи.} \end{array} \right.$$

Аналіз дерева функцій узагальненої структури автоматизованої системи управління дозволяє виділити такі основні підсистеми:

1. Керована підсистема, що містить управління і навколишнє середовище.
2. Підсистема збору інформації про стан об'єкта управління і навколишнього середовища.
3. Підсистема аналізу й оцінки стану об'єкта управління і навколишнього середовища.
4. Підсистема прийняття рішень.
5. Підсистема формування управлінських впливів.
6. Підсистема реалізації управлінських впливів.
7. Підсистема реєстрації інформації.
8. Підсистема зв'язку й обміну інформацією з іншими підсистемами.
9. Підсистеми перетворення форми представлення інформації.

Кожна з виділених підсистем представляє власне кажучи функціонально - зорієнтований процесор. Залежно від функцій, реалізованих КСУ ТП, необхідних характеристик продуктивності системи, необхідної точності управління, динамічних характеристик об'єкта управління, числа контрольованих параметрів і управлінських впливів визначаються вимоги до підсистеми, якою управляють. Узагальнена структура КСУ ТП містить усі виділені підсистеми.

Вимоги до продуктивності системи різко зростають при створенні полі канальних автоматизованих систем, у яких управління декількома об'єктами здійснюється єдиною управлінською системою. Прикладами подібних полі канальних систем управління є системи, що обслуговують кілька верстатів, що обробляють системи з багатоопераційними верстатами, бойові інформаційно-управлінські системи, використовувані на флоті й в авіації.

РОЗДІЛ III. МОДЕЛІ ПРОЕКТУВАННЯ ІНТЕГРОВАНИХ КОМП'ЮТЕРНИХ СИСТЕМ УПРАВЛІННЯ ТЕХНОЛОГІЧНИМИ ПРОЦЕСАМИ

3.1 Загальні питання теорії проектування, методологія та методи проектування КСУ ТП

Постановка завдання передбачає розробку графіків виконання проектних робіт, що вимагає детального розчленування проблем проектування і побудови об'єкта із встановленням реальних термінів виконання кожного завдання, тобто розбити загальну проблему на елементарні і доручити їх виконання окремим фахівцям. Розробка матеріалів проекту здійснюється виконавцями окремих завдань, які можуть бути як спеціального призначення, так і прикладного характеру і торкатись питань економіки, соціальних та інших напрямків. Після розв'язання елементарних завдань проектування, відбувається об'єднання матеріалів проекту і побудова об'єкта. Закон ОРС статистичний, відображає єдність необхідних і випадкових подій, має неоднозначність, розкриває розвиток об'єкта, спрямованість проекту, порядок проходження подій розділення і з'єднання складових частин об'єкту в єдине ціле з урахуванням чинника часу. Експоненціальний характер закону ОРС призводить до зростання деяких параметрів об'єму матеріалів проекту, прискоренню зростання кількості нововведень в різних напрямках науки, техніки, культури. Закон ОРС дозволяє використовувати “диверсійний аналіз”, тобто ефект отримання максимальної шкоди кристалізуючи минулий досвід за законом “соціальної пам'яті”. Закон носить соціальний характер, оскільки він веде до зростання кількості робочих місць для виконання проектних робіт, збільшує дію ефекту насичення числа виконавців і приводить до посилення “людського чинника” в колективі виконавців проектних робіт прогнозувати розвиток проектування, виготовлення і упровадження об'єкту проектування в

практичну діяльність, тобто передбачати кінцевий результат реалізації проектних рішень в практику; раціонально організувати систему проектування з метою упровадження об'єкту з мінімальними витратами в найкоротші терміни.

Категорії міри кількості і якості в проектуванні мають визначальне значення для визначення практичної, економічної і соціальної корисності як для проекту – проміжного результату проектування, так і для кінцевого результату – об'єкта проектування.

Міра кількісних і якісних характеристик проектування необхідна для об'єктивної, науково обґрунтованої оцінки проекту, об'єкта і системи проектування з метою раціонального виконання поставлених завдань з мінімально можливими витратами праці, матеріалів та енергії. Визначення міри кількісних і якісних характеристик проекту, об'єкта і системи проектування здійснюється шляхом розв'язання таких завдань:

- дослідження природи і взаємозв'язків характеристик творчої праці в системі проектування та параметрів проекту і об'єкта проектування;
- аналіз заходів кількісних і якісних характеристик форми змісту, практичної цінності та переходу їх з одного стану в інший;

Об'єктивна оцінка заходів кількості і якості проектування досягається детальним опрацюванням існуючої інформації про аналоги об'єкта, виконані проекти, структури подібних систем проектування і проводиться висококваліфікованими фахівцями, які особисто відповідають за виконання завдання.

Принципи визначення міри кількісних і якісних характеристик проекту, об'єкта і системи проектування базуються на таких положеннях:

- структурна організація системи проектування задовольняє вимоги бездефектного проектування і включає інформаційну систему з розвиненим зв'язком отримання інформації про аналогічні проекти та об'єкти;
- показники кількості і якості проектування чітко формуються і коректуються на всіх етапах і стадіях розробки матеріалів проекту і реалізації

об'єкта. Показники і характеристики міри кількості і якості проектування розглядаються по групах:

- кількісні і якісні характеристики об'єкта;
- кількісні і якісні характеристики проекту;
- кількісні і якісні характеристики системи проектування.

Міра кількості і якості об'єкта проектування має два значення. Перше - орієнтовне, коли планується створення об'єкта. Друге, після реалізації об'єкта.

Міра кількісних і якісних характеристик відображає істотну сукупність властивостей об'єкта проектування, що визначає стійке взаємовідношення складових елементів функціональної системи, їх специфіку, що зумовлює здатність задовольняти певні потреби суспільної діяльності відповідно до його призначення. Єдність міри кількісних і якісних характеристик на всіх етапах і стадіях проектування забезпечує успішне одержання з максимальною вірогідністю позитивного результату впровадження об'єкта.

Міра кількісних характеристик об'єкта проектування відображає масу, просторово - часовий рух та задіяні фізичні та хімічні величини. Кількісні характеристики об'єкта проектування встановлюються завданням і визначаються експериментально шляхом безпосереднього вимірювання або порівняння з існуючим шаблоном. Кількісні характеристики включають економічні показники та свідчать про обґрунтованість вибору оптимального напрямку проектування і отримання прогнозованого ефекту від реалізації об'єкта, вартості його виготовлення.

- науково – технічного або культурного рівня відповідає прогресивним досягненням практичної діяльності, використанням сучасних відкриттів, винаходів, раціональних комплектуючих виробів і матеріалів;

- технологічними особливостями при виготовленні, експлуатації, утилізації, відвертості і гнучкості дозволяючи виробляти вдосконалення і вносити необхідні зміни при переході на інші умови застосування, рівнем надійності, довговічності, стандартизації і ін. ;

Показники міри якісних характеристик об'єкта проектування можуть бути як одиничними, так і комплексними. Методи визначення якісних характеристик об'єкта проектування залежать від особливостей і призначення показників в абсолютних, відносних або питомих величинах і можуть бути органолептичними, експертними і ін. Оцінка міри якості об'єкта проектування за відносними величинами характеристик ґрунтується на порівнянні з відповідною сукупністю базових показників, званих рівнем, технічних (спеціальних), економічних і соціальних даних, які визначають критерій якості, тобто комплексний інтегральний безрозмірний показник .

Міра якісних характеристик за змістом є постійною і досягається в проектуванні, виготовленні і упровадженні об'єкта проектування шляхом винахідництва і раціоналізації виконавців.

Матеріали проекту представляють модель об'єкта проектування і можуть бути використані як науково – технічна продукція. В цьому випадку міра кількості і якості проекту є показником товару науково – технічного досягнення і визначає ступінь незалежності від заходів виготовлення і реалізації об'єкту проектування. Міра кількісних характеристик матеріалів проекту включає такі показники:

- об'єм матеріалів проекту (кількості креслень, схем, графіків, плакатів, моделей, макетів, зразків, текстової документації, розрахунків, технологічної документації і т.д.) ;

- вартість комплексу матеріалів проекту, включаючи оцінку їх новизни.

Методи визначення міри кількісних характеристик матеріалів проекту виконується шляхом прямого підрахунку складників і вираження їх у грошових одиницях.

Міра якісних характеристик матеріалів проекту може бути абсолютною, відотною, питомою і представлена такими групами показників:

- науково – технічного або культурного рівня, що відповідає сучасним досягненням прогресу, включаючи використання нових відкриттів, винаходів, матеріалів, комплектуючих виробів і інших новацій;

- економічних – капіталовкладень - що відображають ефективність, вартість використаних, комплектуючих матеріалів і інших елементів для реалізації об'єкту проектування.

Показники характеристик міри якості проекту повинні відповідати таким вимогам:

- органічно доповнювати один одного, не суперечачи іншим характеристикам, що стосуються із стимулювання підвищення ефективності, оптимальності, раціональності проекту;

- повинні трансформуватися в систему характеристик і бути зведеними від виконавців різних спеціальностей.

Оцінка критеріїв міри якості проекту виконується методами якісного та порівняльного аналізу шляхом системного підходу до виявлення інтенсифікації елементів, ланок, підсистем, які входять в об'єкт проектування. Науково – технічний або культурний рівень матеріалів проекту характеризується відносним коефіцієнтом відносної якості.

Кожна характеристика міри якості проекту групи науково – технічного або культурного рівня представлена числовим коефіцієнтом вагомості, який встановлюється за бальною шкалою. Коефіцієнт вагомості відповідає ступеню важливості даної характеристики в загальному комплексному критерії міри якості проекту і визначається експертним шляхом з інтегральною оцінкою, використовуючи функції ранжирування, розстановки пріоритетів за умови, що загальна сума повинна бути рівна одиниці. Можливість реалізації об'єкту за проектом встановлюється шляхом аналізу моделей, виготовлених макетів і зразків, даних про існуючі аналоги і прототипи, технології виготовлення елементів і складання об'єкту, використаних матеріалів і комплектуючих деталей, використання стандартизованих і уніфікованих рішень. Об'єкт, що ідеалізується, є

мислимою моделлю виконуючої задану функцію, але фізичної реалізації для конкретних, що не враховує вимоги, умовах практичного застосування.

Критерії міри якості проекту залежно від груп економічних і соціальних показників встановлюються експертним шляхом за результатами аналізу безлічі чинників. Диференційовані економічні і соціальні характеристики міри якості проекту досить умовно можна привести до вираження у грошових одиницях на основі суб'єктивної оцінки і визначити їх орієнтовну вартість, яка визначає можливість реалізації об'єкта.

Міра кількості і якості системи проектування характеризується безліччю показників, які пов'язані з елементами і ланками організаційної структури, властивостями об'єкту і характером і методом розробки матеріалів проекту.

Мірою кількості в системі проектування СП є такі показники:

- кількість структурних підсистем і ланок, виконавців і керівників;
- загальний обсяг засобів виробництва;
- витрати праці, матеріалів і енергії на кожному етапі або стадії виконання проектної роботи.

Якщо кількість складових частин, працівників і обсяг засобів виробництва є довготривалими незмінними показниками, то витрати праці, матеріалів і енергії характеризують виконання робіт проектування у встановлений термін на певних етапах і стадіях. Міра кількості СП трудовитрат включає функціональну, економічну і соціальну характеристики.

Функціональна характеристика визначається обсягом передбачуваних робіт і кількістю фахівців для їх виконання на відповідних етапах і стадіях проектування, кількістю виготовлених макетів і зразків та проведених необхідних НІОКР. Обсяг робіт проектування виражається в одиницях вимірювання трудовитрат (трудомісткості). Економічна трудомісткість T_e характеризує міру кількісної оцінки СП з урахуванням змін і доповнень у трудовитратах в результаті різноманітних непередбачуваних явищ і

неточностей виконаних економічних розрахунків і визначається за поточною інформацією про результати проектних робіт. Трудомісткість соціальна T_c характеризує міру кількісної оцінки СП, враховує трудовитрати, що виникли в результаті проведення структурно – правових або санітарно – гігієнічних заходів.

$$T_3 = T_\phi + T_e + T_c .$$

Економічна T_e і соціальна T_c трудомісткість можуть або збільшувати або зменшувати величину загальної трудомісткості T_3 .

Параметр кількісних вимірювань робіт проектування характеризується абсолютними значеннями трудомісткості окремих етапів або стадій розробки матеріалів проекту і реалізації об'єкта. Питомі трудомісткість - функціональна, економічна, соціальна - встановлюються залежно від числа умовних елементів.

Питома функціональна трудомісткість характеризує рівень застосування технічних засобів проектування, включаючи ЕОМ. Питома економічна трудомісткість відображає все що пов'язане з розрахунком і аналізом трудових витрат СП.

Міра кількісних характеристик СП дозволяє виконати багатоваріантний розрахунок функціональної, економічної і соціальної трудомісткості з метою раціональної організації структури апарату управління і визначення оптимального співвідношення кількості фахівців і допоміжних працівників.

Міра якості СП характеризується результатами творчої праці колективу фахівців, що розробляють матеріали проекту і здійснюють проектування, та беруть участь у реалізації об'єкта. Взаємозв'язки між характеристиками міри якості СП доцільно встановлювати на початку проектування, у момент виникнення необхідності створення об'єкта і коректувати їх до реалізації об'єкта проектування.

- функціональні, відображають професіоналізм, кваліфікаційний рівень і розстановку фахівців при виконанні певних задач проектування;

- технологічність проектування забезпечує продуктивність праці при розв'язанні окремих завдань спрямованих на розв'язання загальної проблеми реалізації об'єкта;

- економічні взаємозв'язки між доцільністю фінансування, що відображено, в матеріалах проекту і реальною вартістю об'єкта та прогнозованого ефекту від його реалізації;

- соціальні та ергономічні властивості системи, що включають комплекс фізіологічних, антропологічних, гігієнічних, психологічних естетичних умов при організації робочих місць фахівців, об'єднаних у виробничі групи.

Комплексний критерій міри якості СП дозволяє:

- удосконалювати засоби і методи контролю функціонування кожної ланки і елемента з метою підвищення якості виконання поставлених завдань;

- забезпечувати контроль придатності матеріалів проекту на всіх етапах і стадіях проектування і реалізації об'єкта;

Управління мірою якості СП базується на принципах без дефектності матеріалів проекту і виготовлення об'єкта, комплексного підходу до управління якістю, цільовою орієнтацією управління проектуванням “зверху – вниз”, тобто керівник несе відповідальність за якість матеріалів проекту і скорочення операційного контролю. Дотримання перерахованих принципів дозволяє створити систему управління якістю з високими показниками керованості, наочності, тестування і реалізації об'єкта у відповідності до заданих вимог. Програма побудови системи управління мірою якості проектування включає сучасні методи, технічні засоби, які не є чутливими до втомних і кризових ефектів, попереджують появу дефектів і помилок і усувають причини їх появи. Система управління мірою якості проектування вимагає витрат на придбання технічних засобів і навчання фахівців з високим освітнім рівнем і неординарним мисленням. Необхідно враховувати, що число контролерів не повинно перевищувати 5% від загальної кількості

фахівців, які беруть участь у проектуванні. Найкраще співвідношення контролерів і проектувальників складає 1%.

Стратегія системи міри якості проектування направлена на таке:

- створення малих груп висококваліфікованих фахівців для вирішення можливих вузько спеціалізованих проблем оцінки якості;
- колективну участь фахівців в розробці методів підвищення міри якості і скорочення витрат на контроль.

Система управління якістю проектування дозволяє визначити одиниці вимірювання характеристик якості, вид комбінацій фізичних величин, виявляти можливості вдосконалення об'єкта проектування і логіку підготовки його реалізації.

Визначення заходів кількості і якості в проектуванні вимагає значних фінансових витрат на організацію, контроль і облік параметрів вимірюваних характеристик, іноді ці витрати перевищують практичну значущість об'єкту для економіки - характеристики об'єкту, проекту і системи проектування взаємозв'язані на всіх етапах і стадіях проектування і мають суб'єктивну оцінку;

- комплексний критерій міри якості проектування може бути використаний як показник оптимальності системи проектування для реалізації об'єкта за матеріалами проекту.

Компонентами системи методології проектування є структура і логічна організація з певними взаєморозташуваннями і взаємозв'язками між об'єктом і системою проектування. Структура і логічна організація має на меті встановлення науково-обґрунтованих шляхів використання методології проектування .

- дослідження і раціоналізація структури і логічної організації системи проектування у взаємозв'язку з об'єктом і зовнішніми і внутрішніми діями ;
- визначення змісту і послідовності форм і видів проектної діяльності для певних класів, типів або видів об'єктів проектування ;

Методологія структури і логічної організації системи проектування може бути використана за умов науково історичного підходу до розвитку проблеми створення об'єкта, застосування системного підходу, структуралізму, кібернетичних методів, принципів мислення вірогідності при аналізі аналогів, прототипів для визначення оптимального варіанту методу проектування .

Принципи методології структури і логічної організації полягають в наступному :

- розчленовування об'єкту і системи проектування на ієрархічні рівні рішення проблем проектування і реалізації об'єкту, включаючи потреби, мотиви, цілі реалізації, рух засобів забезпечення проектування ;
- побудова системи, що складається з частин : об'єкт – проект – людина ;
- вдосконалення об'єкту в часі і просторі при змінах зовнішніх і внутрішніх умов функціонування системи проектування, враховуючи організаційні форми підприємств, що беруть участь в проектуванні .

Методологія структури і логічної організації системи проектування включає :

- структуру і взаємозв'язки об'єкта і системи проектування ;
- логічну організацію об'єкта і системи проектування ;
- методологічні засоби аналізу і синтезу об'єкта і системи проектування

Методологія структури і логічної організації об'єкта і системи проектування дозволяє формувати постановку проблеми проектування, не роблячи методологічних помилок, що призводять до появи псевдопроблем, що ускладнюють реалізацію об'єкта.

Структура проектування пов'язана з поняттями “система” і “організація” . Система проектування включає складові частини об'єкт – проект – людина як підсистеми, що забезпечують цілісність об'єкта, відповідність проекту і виконавця реалізації задуму .

Система способів, операцій, прийомів, направлених на розробку проекту для реалізації об'єкта, складають зміст методів проектування.

Методи проектування спрямовані на розробку проекту і реалізацію об'єкта відповідно до заданих вимог при мінімальних витратах праці, матеріалів, енергії з високими показниками якості підсумків проектування .

- дослідження зв'язків параметрів і характеристик об'єкта і елементів системи проектування при неповній інформації про їх взаємодію для постановки проблеми, що виключає виникнення псевдо проблем ;

- виявлення ступеня впливу зовнішніх і внутрішніх умов на функціонування об'єкта при змінах стану навколишнього середовища при його побудові, впровадженні і дослідженні ;

Є різні методи проектування, стосовно вивчення, побудови, випробування об'єкта, які базуються на сучасних досягненнях теорії пізнання і потребують виконання наступних умов :

- пізнання направлене на певний об'єкт ;
- проведення оцінки необхідності проектування і шляхів реалізації об'єкта ;

- творчих, що враховують принципи перетворення інформації в проект з подальшою практичною реалізацією об'єкта, або в його матеріально – конструктивні форми;

- семіотичного, способу перетворення проекту в об'єкт .

Принципи методів проектування задають загальний напрямок проектування, підходи до дослідження об'єкта, точки оцінки одержаних результатів при його впровадженні . Основні напрямки методів проектування виробляються шляхом порівняння, аналізу, синтезу, ідеалізації, узагальнення, сходження від абстрактного до конкретного, індукції і дедукції . Методи проектування охоплюють принципи формування послідовності проектування, форми проектної діяльності, вимоги, що пред'являються до об'єкта при його реалізації і дослідженнях в реальних умовах.

- принципи класифікації методів проектування ;

- методи проектування систем і процесів ;
- методи проектування виробів і елементів .

Використання методів проектування забезпечує високоякісну розробку проекту і реалізацію об'єкта без зайвих змін і виправлення помилок різного характеру.

Методи проектування доцільно розділяти за трьома ознаками аналогічно до методів пізнання.

1. Історичний розвиток: евристичні правила пошуку рішень, мозковий штурм, морфологічний аналіз, синектика, функціонально-вартісний аналіз, теорія розв'язання завдань винахідництва, бази даних на ЕОМ.

2. Принцип внутрішньої суті з використанням ЕОМ:

- хаотичний вибір варіантів, логографічний метод Ломоносова, мозковий штурм, різні списки контрольних питань;
- системний вибір варіантів, морфологічний аналіз, синектика, функціонально-вартісний аналіз;
- логічний вибір варіантів:
- теорія рішення задач винахідництва;
- узагальнений евристичний алгоритм;
- формули Зарінова-Половінкіна.

3. Методи за рівнями:

- прості: правила для винахідників Енгельмайера;
- інтуїтивні: мозковий штурм, морфологічний аналіз, теорія рішення задач винахідництва, метод Генріга Буму, метод “Гірлянд асоціацій”.

Метод проектування, як правило, відповідає об'єкту проектування, тобто системі, процесу або виробу. Метод проектування системи або процесу може складатися з кількох методів. Метод проектування виробу включає не більше ніж два методи.

Розвиток методів проектування рухається в напрямку від ручного (немашинного) до машинного (автоматизованого).

Автоматизоване проектування (САПР) ґрунтується на застосуванні технічних засобів проектування, включаючи ЕОМ.

При проектуванні використовуються в більше чи менше всі відомі методи пізнання, дві групи методів. Критеріями вибору методу проектування є якість, вартість, терміни та кількість фахівців, зайнятих при проектуванні. Перевага віддається методу проектування, який є економічним, точним, універсальним, оптимальним для одержання проектних рішень при мінімальних витратах трудових і матеріальних ресурсів.

- блоково-ієрархічні - БІП;
- конструкторсько-технологічні - КТП;
- агрегатно-модульні - АМП.

Конструкторсько-технологічний метод проектування полягає в одночасному русі по вертикалі і горизонталі рівнів розробки матеріалів проекту. Процес конструкторсько-технологічного методу проектування КТП базується на апаратно-програмних комплексах, що містять необхідну і достатню інформацію про технічні, економічні і соціальні норми. Результатом КТП є програми, які дозволяють здійснювати в заданій послідовності необхідний набір проектних операцій виготовлення об'єкта. Готові програми дозволяють швидко перебудовувати матеріали проекту під технологію виготовлення об'єкта. Це задовольняє вимоги виробництва об'єкта проектування шляхом поєднання різноманітних науково-технічних, економічних і соціальних чинників. Контроль за якістю виготовлення об'єкта здійснюється з допомогою тестів, що входять в комплект програм. Тести дозволяють з необхідним ступенем точності, без знання принципів дії і завдань майбутнього об'єкту встановити його надійність і здатність функціонування.

Рівні КТП складають ієрархію етапів по вертикалі і горизонталі, послідовність виконання яких визначається мірою достовірності інформації і ухвалених рішень. Другий рівень включає складання, узгодження, затвердження технічного завдання ТЗ на об'єкт на підставі початкових даних

першого рівня здійснюється розрахунок продуктивності, визначаються терміни проектування, виготовлення, впровадження, включаючи виробничі випробування. Здійснюється розчленування на стадії і етапи розробки матеріалів проекту. Визначаються шляхи досягнення оптимальності об'єкту проектування. Отримується інформації з банку даних щодо існуючих аналогів об'єкта, комплектуючих виробів, елементів і необхідних матеріалів. Третій рівень по горизонталі включає розробку структурної та функціональної схем. Встановлюються орієнтовні габаритні розміри, маса, функціональні пристрої, форма розрахунку продуктивності, ступінь детальності розгляду варіантів. Виконується одноваріантний і багатоваріантний аналіз статичного стану перехідного процесу чутливості, частотних характеристик, стаціонарних режимів коливань і стійкості. П'ятий рівень КТП включає розробку технології об'єкта. Шостий рівень включає пуско - наладку, випробування, впровадження в експлуатацію. Кожен вертикальний рівень розчленовується на горизонтальні рівні, послідовність яких спрямована від елементу до об'єкта проектування.

Процес опису КТП включає характеристику окремих частин модельованого процесу та їх взаємозв'язків, тобто здійснюється системний підхід до аналізу об'єкту.

Процес евристичного моделювання використовує багатоетапний експеримент і реалізує основні риси системного підходу при проектуванні об'єкта на рівні моделювання інтроспективного і природного ітеграційного експерименту. Рівень інтроспективної структури це процес розв'язання, він представлений у вигляді дерева. Опис структури об'єкта ведеться за допомогою самостереження (інтроспективна) у процесі розв'язання завдання.

- розв'язання завдання проектування шляхом виділення підмножини початкових даних і результатів;

- одержання функціонально - або логічно - зв'язаних результатів з проміжними і початковими даними, тобто “зворотний хід” по дереву розв’язання;

- отримання даних про структурні складові завдання, які є компонентами зв'язаності дерева розв’язання.

Іноді застосовують тільки “прямий хід”. Дерево є наочним і дозволяє динамічно оцінювати якість структуризації, не дивлячись на фрагментарність і неповноту опису на цьому рівні. Критерієм оцінки якості структуризації є поява у вершинах дерева об'єкта, описуваного існуючими математичними моделями. Оцінку об'єкта виконує розробник моделі або експерт.

Висновки щодо позитивних якостей КТП :

- володіє високою економічністю за рахунок скорочення терміну проектування і виготовлення об'єкта порівняно з традиційно-формальним методом проектування;

- скорочує термін проектування до мінімально можливого, враховуючи час старіння ідеї;

- зменшує кількість фахівців, що займаються розв’язанням завдань проектування;

- дає можливість отримання оптимальних проектних рішень з розумним поєднанням фізичного і математичного моделювання, експериментального макетування, інтуїтивно-евристичного методу зіставлення та формальних методів і індуктивного методу рішення задач.

3.2 Організація структури системи проектування КСУ ТП

Розвиток системи проектування ТУ включає управління, соціальну організацію, економічні аспекти, та вимагає деталізованої регламентації праці на різних рівнях для забезпечення успішної реалізації матеріалів проекту.

Побудова раціональної структури системи проектування, цілеспрямованої системи управління, дієвої соціальної організації, ефективної економіки дозволить розв'язувати такі завдання:

- дослідження організаційної структури системи проектування з метою встановлення принципів взаємозв'язку між характеристиками ТУ, економічними і соціальними чинниками; виявлення умов ефективного управління системою проектування для забезпечення отримання максимального прибутку і стійких соціальних взаємозв'язків;
- визначення основних характеристик організаційної структури, параметрів системи управління, економічних і соціальних показників системи проектування для одночасної розробки декількох проектів і паралельного упровадження ТУ.

Необхідною і достатньою умовою створення оптимальної організації системи проектування з ефективним управлінням, економічною рентабельністю і соціальною стійкістю є використання прогресивної науково-технічної бази, технічних засобів проектування, передового досвіду розробки матеріалів проекту, реалізації ТУ і виконання вимог соціального забезпечення фахівців, що беруть участь в проектуванні.

Принципи побудови раціональної організаційної структури системи проектування з оптимальною системою управління, ефективною економікою і оптимально соціальною організацією полягають в такому:

рівні абстрагування і наочності встановлюються в межах сприйняття виконавцем середнього рівня кваліфікації; чітке планування проектних робіт при монопольному ухваленні стратегічних рішень і об'єднанні зусиль виконавців для виконання завдань реалізації ТУ; гнучкість організаційної структури системи проектування при змінах зовнішніх і внутрішніх умов проведення проектних робіт, результатів контролю ієрархічних взаємодій на різних рівнях управління і порушеннях економічних характеристик.

Організаційна структура системи проектування будується на принципах багатоетапної і стадійної розробки матеріалів проекту і реалізації ТУ при багатofункціональності окремих ланок проектувальників з нормованими взаємозв'язками. Структура системи проектування враховує працю виконавця шляхом інтелектуальних методів міркувань, інтуїтивно–практичного пошуку рішень в умовах неповноти і невизначеності інформації про проєктоване ТУ у взаємозв'язку з матеріалами і енергією затраченого на виконання завдань проектування. Раціонально організована структура системи проектування успішно функціонує завдяки застосуванню сучасних технічних засобів, досягнень науки в області соціальної організації проєктної діяльності.

Управління раціонально організованою структурою, системою проектування виконується відповідно до законів і норм індивідуальної і колективної творчої праці, на основі багаторічної практики і традицій проектування, визначеного ТУ. Ефективне управління системою проектування досягається завдяки участі висококваліфікованих виконавців, використання передового досвіду проектування, наявності оптимальної інформаційної бази для побудови комплексної математичної моделі ТУ на основі структурної схеми проєктної діяльності, що складається з функціональних операцій, економічної доцільності і соціальної потреби. Економіка системи проектування вимагає ретельного, постійного контролю за використанням трудових, матеріальних і енергетичних ресурсів, підготовки і проведення економічної оцінки матеріалів проекту і реалізації ТУ і виконання завдань маркетингу.

Виконання принципів організації, управління, соціальних вимог і економічних показників системи проектування дозволить одержати позитивні результати її функціонування в умовах порушення стабільності як навколишнього середовища, так і виникнення внутрішніх суперечностей, що порушують функціонування окремих ланок або системи в цілому.

Науковою базою організації структури системи проектування є теорія матеріального виробництва, тобто товаровиробника. Враховуючи, що товаром є науково-технічна продукція, представлена матеріалами проекту і діючим ТУ, система проектування формується на основі законів матеріального і нематеріального виробництва і взаємозв'язків потоків праці, матеріалів і енергії. Структура системи проектування створюється на основі організаційно-методичних принципів, що враховують характер і властивості ТУ, економічні і соціальні чинники, що забезпечують узгоджене функціонування і взаємодію складових частин при безперервній дії зовнішніх і внутрішніх явищ закономірного і випадкового характеру.

Структура системи проектування направлена на забезпечення узгодженої взаємодії між підприємствами, організаціями, групами і окремими фахівцями для виконання багатоетапних проектних робіт, включаючи пошук раціонального рішення поставленого завдання, виконання організаційно-технічних заходів, розрахунково-теоретичних, конструкторсько - компанувальних оформлювальських робіт, реалізацію проекту і аналіз досвіду експлуатації ТУ. Раціональна організація структури системи проектування дозволяє надійно функціонувати всім складовим частинам в умовах випадкових і нерегульованих дій зовнішнього середовища. Внутрішня самоорганізація структури системи проектування дозволяє виконувати проектування ТУ у встановлені терміни при мінімально допустимих витратах праці з високими показниками якості.

Сукупність процесів, операцій, заходів і дій частин системи проектування вимагає формування стійких і гнучких зв'язків на всіх етапах і стадіях виконання проектних робіт. Організаційна структура системи проектування зберігає цілісність і якісне різноманіття зв'язків між складовими частинами, забезпечуючи динамічну стійкість при змінах зовнішніх і внутрішніх чинників. Спрямованість дії організаційної структури системи проектування визначається ієрархією і підпорядкуванням рівнів виконання проектних робіт, узгодженою взаємодією складових частин і

пристосованістю до змін зовнішнього середовища. Стратегія розвитку структури системи проектування спрямована на: суворе планування фондів, виконання бюджету, управління ієрархією взаємостосунків між складовими частинами системи проектування; монопольне ухвалення рішення щодо розвитку структури ланок для забезпечення виконання проектних робіт у встановлений термін; відповідальність за допущені помилки при використанні передових знань і досвіду реалізації ТУ.

Структура системи проектування об'єднує фахівців різних рівнів кваліфікації для спільного виконання певних проектних робіт. Організаційна структура системи проектування повинна відповідати вимогам норм і правил залучення мінімальної, але достатньої кількості фахівців для розв'язання завдань проектування. Фахівці, об'єднані в групи за принципом виконання поставленого завдання проектування, утворюють соціальну ланку, що входить в соціальну організацію системи проектування. Існування і дії соціальної організації системи проектування визначається законами і правилами соціології, що враховують умови праці і міжлюдські стосунки.

Рациональна організація структури системи проектування передбачає чітке розмежування основних форм діяльності, включаючи функціональну Ф, економічну Е, соціальну С, які забезпечують узгоджену взаємодію підрозділів, груп, робочих місць при розробці проекту і реалізації ТУ.

Функціональна форма діяльності Ф виконує основні завдання проектування і реалізації ТУ:

- аналіз і синтез структури ТУ і взаємозв'язок із складовими частинами системи проектування;
- визначення основних етапів і стадій проектування і розробка матеріалів проекту;
- розробка методів і засобів реалізації ТУ.

Економічна форма діяльності Е, передбачає таке:

- орієнтовний розрахунок економічної доцільності реалізації ТУ;

- розрахунок економічного ефекту розробки матеріалів проекту і реалізації ТУ для існуючої системи проектування;

- облік і контроль витрат праці, матеріалів і енергії складовими частинами системи проектування і розробка заходів щодо їх скорочення.

Соціальна форма діяльності С направлена на рішення проблем:

- створення творчого мікроклімату команди виконавців, об'єднаних загальною ідеєю реалізації ТУ;

- виявлення і усунення конфліктних ситуацій в міжлюдських стосунках з урахуванням зовнішніх і внутрішніх чинників;

- визначення дії людського чинника в умовах системи проектування і вдосконалення засобів проектування і методів спілкування.

Організаційна структура системи проектування складається з апарату проектування $A_{пр}$, суб'єкта проектування $C_{пр}$, матеріалів проекту P_r , виробничого апарату B_a , суб'єкта виконавця C_v і об'єкта O .

Апарат проектування $A_{пр}$ включає весь комплекс матеріалів, технічних засобів, споруд, енергії, необхідних для розробки матеріалів проекту.

Суб'єкт проектування $C_{пр}$ представлений повним складом усіх рівнів і спеціалізованих підрозділів системи проектування. Взаємостосунки $A_{пр}$ і $C_{пр}$ визначають якість і термін виконання матеріалів проекту.

Виробничий апарат B_a представлений повним складом знарядь праці і засобами виробництва, включаючи матеріали і енергію, необхідні для реалізації об'єкту. Суб'єкт виконавця C_v включає весь колектив виконавців, що здійснюють реалізацію об'єкту. Об'єкт проектування встановлює взаємозв'язки між складовими частинами системи проектування на кожному етапі і стадії проектування, враховуючи багатофункціональність окремих підрозділів, груп виконавців і робочих місць фахівців.

Структура системи проектування визначається співвідношенням обсягів витрат потужностей на роботи, що виконуються. Постановка

завдання або формулювання проблеми P_3 не обмежена нормативами трудовитрат і залежить від новизни і складності об'єкту. Потужність допоміжних служб D_c повинна складати не більше 5% від загальних витрат праці. Розв'язання основного завдання O_3 проектування складає значну частину всіх витрат потужності, спрямованої на реалізацію ТУ.

Організаційна структура системи проектування реалізується на основі методів інтелектуального міркування шляхом об'єднання інтуїтивно–практичних знань в умовах неповноти та невизначеності інформації про ТУ і його взаємозв'язків з навколишнім середовищем. Вимоги, що пред'являються до організаційної структури системи проектування спрямовані на розв'язання поставленого завдання реалізації ТУ з мінімально необхідною і достатньою кількістю організаційних ланок без зайвих взаємозв'язків в умовах припустимого ступеня свободи вибору і ухвалення рішень, спрямованих на скорочення термінів проектування і зниження витрат праці, матеріалів і енергії.

Існуючі організаційні структури систем проектування мають відмінності за такими ознаками:

- кількістю структурних одиниць, що об'єднують виконавців різних спеціальностей і професійного рівня для розв'язання поставленого завдання реалізації ТУ;
- принципами управління колективом виконавців на основі міжлюдських стосунків і врахування людського чинника;
- координацією і стратегією розвитку структури системи проектування, що пов'язані з терміном її існування.

Принципи побудови раціональної організаційної структури системи проектування враховують:

- правила і методи виконання операцій і явищ, пов'язаних з внутрішніми і зовнішніми умовами, що відображають закономірності стійкого повторення відносин між частинами системи проектування

залежно від вигляду або типу ТУ, змісту матеріалів проекту, використаних технічних засобів проектування;

- багатоетапне проектування багатоланкової структури системи проектування з урахуванням багатофункціональності окремих ланок з нормованими взаємозв'язками;

- параметри, які відображають чинники керованості, інформаційності і відповідності структурі ТУ.

Постійне зростання вимоги до скорочення термінів проектування і підвищення якості матеріалів проекту ставить нові вимоги до створення і вдосконалення технічних засобів проектування. Технічні засоби проектування включають: будівлі і споруди, апаратуру, інструмент, забезпечення проектування, засоби і устаткування, необхідне для виготовлення і випробування макетів, моделей і зразків ТУ. Різноманітність вимог до технічних засобів проектування повинні бути приведені у відповідність до умов навколишнього середовища, географічної місцевості, розташування будівель, інтер'єрів, дизайну побутових, санітарно-гігієнічних та інших приміщень.

Розвиток організаційної структури системи проектування відбувається в двох напрямках:

- централізації координації діяльності всіх підсистем (підрозділів), ланок, груп виконавців і окремих фахівців, об'єднаних жорсткою адміністративною структурою, що виконує волю центру;

- децентралізація, надання підсистемам, ланкам більшої самостійності в ухваленні рішень, що забезпечують виконання основного завдання проекту, надання виробничим підприємствам незалежності у реалізації ТУ.

Раціонально організована структура системи проектування забезпечить:

- виконання етапів, стадій і операцій проектування, що передбачають послідовність дій сукупності процесів в окремих частинах і системи в цілому;
- функціонування системи при узгодженій взаємодії підсистем, ланок, елементів в умовах дії навколишнього середовища;
- якісну розробку матеріалів проекту і реалізацію ТУ з мінімально можливими витратами в найкоротший строк;
- виявлення загальних методів теоретичних досліджень і практичних дій при розробці проекту і реалізації ТУ, які дозволять удосконалювати правила і норми проектування;
- керованість, інформаційність в умовах відповідності структур ТУ і системи проектування.

Первинною структурною одиницею системи проектування є робоче місце РМ, на якому виконуються певні операції основної діяльності створення ТУ, економічні і соціальні завдання. Кількість РМ залежить від обсягу проектних робіт і є одним з показників раціональної організації структури системи проектування. Робоче місце РМ є не тільки місцем виконання певної функції, але й джерелом матеріального забезпечення виконавця.

Структура системи проектування об'єднує РМ у відділи, цехи і інші підрозділи, що утворюють групи:

- науково-дослідні, науково-виробничі, проектно-конструкторські, технологічні і дослідницько - виробничі;
- науково-допоміжні, включаючи інформаційні, патентні, стандартизації, метрології і т.д.;
- апарату управління, планово-виробничі, праці і заробітної платні, бухгалтерії, фінансові, охорони праці, техніки безпеки, юридичні, матеріально-технічного постачання, комплектації і ін.;
- допоміжного виробництва, ремонтні, будівельні, монтажні, транспортні і т.п.

Перша група підрозділів системи проектування є основною ланкою створення матеріалів проекту, тобто науково-технічного продукту і бере участь у реалізації ТУ шляхом виконання авторського нагляду, проведення НІОКР при виникненні необхідності успішного впровадження ТУ в реальних умовах. До першої групи входять як постійні РМ, так і на короткотермінові, необхідні для виконання певної задачі, з подальшою ліквідацією або переводу в іншу систему проектування. Друга група підрозділів забезпечує якісну розробку матеріалів проекту і фінансується накладними витратами проектування. Третя і четверта групи підрозділів забезпечують стабільне функціонування системи проектування, включаючи роботу устаткування, обслуговування будівель і споруд і фінансуються з накладних витрат проектування. Раціональна організація системи проектування спрямована на виконання взаємозв'язаних науково-технічних, економічних, соціальних вимог, спрямованих на забезпечення своєчасного розв'язання поставленого завдання розробки і реалізації проекту з високими показниками якості.

Структура складної, багатоланкової системи проектування представляється комплексом підрозділів з безліччю різноманітних зв'язків зовнішнього і внутрішнього характеру, які визначають цілісність і стабільність функціонування. Встановлення ефективних зв'язків між складовими частинами системи проектування спрямоване на якісне виконання завдань проектування у визначені терміни. Визначення оптимальних зв'язків системи проектування відбувається шляхом розв'язання таких завдань:

- дослідження зв'язків між елементами системи проектування за функціональними, економічними і соціальними чинниками;
- виявлення змін репродуктивної і продуктивної діяльності складових частин системи проектування в результаті відхилень зовнішніх і внутрішніх факторів від норм необхідного режиму;
- визначення необхідних і достатніх зв'язків системи проектування, що забезпечують розробку матеріалів проекту і

реалізацію ТУ з мінімально можливими витратами праці, матеріалів і енергії.

Умовами реалізації оптимальних зв'язків системи проектування є:

- наявність якнайповнішої і достовірної інформації про проектування і організацію структури системи проектування для виконання етапів і стадій розробки проекту і реалізації ТЕ;
- реальне співвідношення кількісних і якісних функціональних, економічних і соціальних чинників, що впливають на зв'язки між елементами, діють в системі проектування;
- чітке формулювання завдання для кожного елементу і ланки системи проектування при виконанні етапів і стадій проектування.

Принципи утворення зв'язків системи проектування засновані на такому:

- встановлення загального зв'язку між складовими частинами системи проектування, що враховує різні форми руху матеріалів проекту, інформацію про ТУ щодо етапів проектування і передачі команд системи управління;
- конструктивному підході до початкового розчленовування ТУ для обґрунтування організаційної структури системи проектування, відповідної процесу реалізації проекту і розробці теоретичної моделі у вигляді матеріалів проекту.

Зв'язки системи проектування діляться на зовнішні А1 - 4 і внутрішні

К1 - 6. Зовнішні зв'язки характеризують вплив навколишнього середовища за наступними факторами: А1 – необхідність створення ТУ і наявна інформація про фізичні, економічні і соціальні чинники; А2 – формулювання вимог споживача; А3 – умови поставки матеріалів, комплектуючих виробів, енергії; А4 – соціальні зв'язки в області підготовки фахівців і міжлюдських стосунків.

Внутрішні зв'язки розподіляються по каналах:

- перетворення інформації, матеріалів і енергії в проект і створення ТУ;
- організаційної структури виконання плану і заходів управління проектуванням;
- виконуваної функції групами підрозділів сфер проектування;
- взаємодії з суміжними підприємствами і організаціями з проблем отримання спеціальної інформації або науково-технічних матеріалів проекту або ТУ.

Зовнішні і внутрішні зв'язки є необхідними для управління проектуванням і здійснення перенесення матеріалів, передачі енергії і інформації. Виникнення випадкових зв'язків, істотних і неістотних, і характер їх дії залежать від природи ТУ і організаційної структури системи управління проектуванням. Виявлення стійких необхідних зв'язків системи проектування дозволяє встановити характер результату дії команд управління на складові частини за напрямком, типом функціонування, розвитком, управлінням і змістом.

Системний підхід до управління проектуванням встановлює склад ланок, визначає ієрархію, зовнішні і внутрішні зв'язки, що є основою для побудови раціональної структури системи управління проектуванням.

Раціональна структура управління проектуванням дозволяє підвищити продуктивність праці фахівців при існуючій суперечності між встановленим терміном реалізації ТУ і якістю матеріалів проекту з урахуванням характеру праці при змінах внутрішніх і зовнішніх умов.

Система управління проектуванням розв'язує такі завдання:

- встановлює кількість фахівців для виконання робіт по етапах проектування,
- визначає цілісність структури підрозділів системи проектування та ієрархію ухвалення управлінських рішень для

підтримки режиму діяльності по встановленій програмі розробки матеріалів проекту і створення ТУ;

– виявлення умов забезпечення гнучкості управління і адаптації до змін зовнішнього і внутрішнього середовища.

Побудова раціональної структури системи управління проектуванням можлива при чіткому розмежуванні функціональних обов'язків між складовими частинами системи управління, реальному плануванні термінів виконання етапів проектування шляхом розробки планів заходів, складання графіків, диспетчеризації і обліку витрат праці, матеріалів і енергії. При цьому необхідно виконувати вимоги охорони праці та оточуючого середовища.

Принципи структури системи управління проектуванням засновані на таких чинниках: система проектування відноситься до саморушійної сили, що самоорганізовується, тобто маятникової системи регулювання;

внутрішні відносини характеризуються сумісністю розподіленої структури складових частин при виконанні етапів проектування, включаючи розробку матеріалів проекту, виготовлення ТУ і його застосування в практичній діяльності; відносини із зовнішнім середовищем будуються на законах економіки, цінностях соціальної справедливості і людських взаємостосунках.

Схема функціонування системи управління проектуванням включає дві частини - суб'єкт і об'єкт управління - з прямими і зворотними зв'язками і функціонує при взаємодії із зовнішнім середовищем. Структура системи управління проектуванням складається з трьох рівнів. Перший ставить мету і визначає напрям взаємодії підрозділів. Другий диференціює поставлені задачі і ресурси щодо поставленої мети. Перший і другий рівні відповідають рівню управління і здійснюють адміністрування, фінансування, узгодження функціонального призначення кожного виконавця. Третій рівень є рівнем виконання І.

Складові частини (ланки) системи управління проектуванням повинні знати і виконувати покладені на них функції щодо розв'язання проблем:

- організаційно-економічні, засновані на матеріальному стимулюванні праці фахівців;
- соціально-психологічні методи, які діють в системі проектування;
- використання досвіду попередніх систем управління проектуванням;
- інформаційно-пошукових методів визначення оптимального варіанту і прогнозування шляхів розвитку ТУ;
- організації зберігання і обігу матеріалів проекту;
- підготовки системи проектування до реалізації ТУ;
- програмно-цільового управління проектуванням на базі матричної моделі з використанням економіко-математичної моделі формування планово-фінансового обліку;
- автоматизованого обліку результатів проектування;
- планування робіт системи проектування по моделі ціноутворення та тиражування ТУ при безперервному оперативно-виробничому плануванні;
- індикатора зростання оплати і продуктивності праці, нормування проектної роботи;
- ресурсно-календарних моделей при розробці матеріалів проекту і реалізації ТУ;
- залучення виконавців в управління якістю, ліквідації нерентабельних витрат, мінімізації виробничих площ, скорочення проектного циклу, використання технічних засобів і новітнього устаткування при одній і тій же організаційній структурі системи проектування.

Стратегія управління системою проектування полягає в залученні інвестицій для фінансування проекту і оптимізації економіки на всіх етапах

проектування. Раціонально організована система управління проектуванням забезпечує компетентне використання трудових, матеріальних, фінансових і енергетичних ресурсів, підбір і розстановку кадрів, організовує, контролює, підтримує контакти керівника з виконавцем та між підрозділами системи проектування для досягнення позитивного результату реалізації ТУ.

Управління проектуванням є частиною засобів виробництва у складі організаційної структури проектування ТУ для забезпечення режиму діяльності при змінах дій зовнішніх і внутрішніх умов.

Метою управління системою проектування є збереження раціонального функціонування при виконанні поставлених задач з високими показниками продуктивності і мінімальними витратами.

Завдання механізму системи управління проектуванням полягають в такому:

- виявлення ступеня впливу стихійних і свідомих дій на організаційну структуру системи проектування в цілому і на кожен елемент системи окремо;
- визначення взаємозв'язку між складовими частинами системи проектування по каналах управління на різних етапах реалізації об'єкту і умов використання методів і засобів управління;
- формулювання норм і правил управління системою проектування з урахуванням “людського чинника”.

Ефективне управління системою проектування досягається за умов:

- наявності повної і достовірної інформації про поставлену задачу і стан складових частин і елементів системи;
- застосування раціональних методів і технічних засобів управління;
- участі в управлінні висококваліфікованих фахівців.

Принципи управління системою проектування засновані на специфіці ТУ і послідовному виконанні ряду встановлених операцій і заходів,

включаючи підготовку ухвалення рішень, контроль, виконання рішень і підведення підсумків реалізації ТУ.

Раціонально організована система управління проектуванням дозволяє розробляти матеріали проекту на високому науково-технічному рівні з мінімальними доробками ТУ в період його реалізації. Системи проектування використовують різноманітні методи і технічні засоби управління залежно від типу ТУ, економічних і соціальних умов. Методи і технічні засоби цілеспрямовані на забезпечення надійного і ефективного управління системою проектування.

Завдання вирішуються методами і необхідними технічними засобами:

- дослідження методів управління системами проектування;
- визначення раціонального стилю управління системою проектування для конкретного ТУ;
- вибір оптимальних технічних засобів для управління системою проектування.

Умовами застосування раціонального методу управління системою проектування і використання оптимальних технічних засобів є такі:

- визначеність поставлених задач проектування за етапами і рівнями виконання ;
- наявність банку даних і зв'язок його із зовнішнім інформаційним простором;
- участь в управлінні проектуванням висококваліфікованих фахівців.

Методи і технічні засоби управління ґрунтуються на принципах чіткого і оперативного виконання поставлених задач всіма ланками і елементами системи проектування. Адміністративно-командний метод управління базується на державній власності на трудові, матеріальні, енергетичні ресурси і дозволяє швидко одержувати результати в мобілізаційному режимі інтенсивного розвитку проекту в умовах надзвичайної ситуації за рахунок концентрації ресурсів на вирішальних напрямках. В той же час адміністративно-командне управління не стимулює ініціативу фахівців, не

створює стимулів до високопродуктивної праці, не забезпечує розвиток науково-технічного прогресу, підвищення якості проекту і економічної ефективності впровадження технологічного устаткування.

Методи управління системою проектування, включаючи економічні, адміністративні, правові, соціально-психологічні, економіко-математичні, інженерно-економічні, використовуються в комплексному програмно-цільовому методі ПЦМ, який об'єднує планування і організаційно-структурні принципи управління. Певна сукупність чинників ПЦМ впливає на:

- підвищення продуктивності праці, ефективність проектування;
- розробку системи взаємозв'язаних заходів щодо економіки, раціонального використання ресурсів, що забезпечують досягнення поставленої мети – впровадження об'єкту;
- складання оптимального плану стратегії виконання завдань і розроблених заходів;
- визначення концепції гнучкої організаційної структури, необхідної для ефективних і всесторонніх комунікацій.

Етапи розробки ПЦМ :

- аналіз і визначення техніко-економічних показників проектування технологічного устаткування;
- формулювання взаємозв'язаних задач і заходів розробки матеріалів проекту та реалізації об'єкта;
- визначення фінансових, трудових, матеріальних і енергетичних ресурсів і термінів послідовного виконання етапів, стадій і окремих операцій.

Стиль управління проектуванням визначається використанням технічних засобів і буває:

- толітарним або авторитарним, який характеризується складністю виконуваних робіт і трудністю поставлених задач;

- демократичним, коли завдання проектування порівняно прості і терміни виконання не жорсткі;
- колегіальний, коли немає проблем, що вимагають секретності, і проведення проектування виконується в умовах відвертості і гласності;
- змішаний, який об'єднує методи і прийоми кількох стилів.

Управління проектуванням включає такі заходи:

- планування за принципом моделі ціноутворення на тиражування об'єкта в умовах безперервного оперативно-виробничого планування;
- облік індикатора зростання оплати і продуктивності праці в умовах нормування проектних робіт;
- складання графіка про планування проекту, ресурсних календарних моделей з урахуванням вживаних матеріалів, комплектуючих виробів.

Застосування оптимального методу і раціональних засобів управління проектуванням забезпечує виконання проекту у встановлені терміни з високими показниками якості.

Науково-технічний прогрес робить проектну діяльність масовою професією, що вимагає деталізованої регламентації праці на різних рівнях для забезпечення стандартної форми представлення матеріалів проекту, реалізацію об'єкту в мінімальні терміни з високими показниками якості. Реалізація поставлених вимог можлива за умови автоматизації проектних робіт на основі сучасних технічних засобів.

Автоматизація проектування спрямована на підвищення продуктивності і поліпшення умов праці фахівців, зайнятих розробкою матеріалів проекту і реалізацією ТУ. Автоматизація проектування забезпечує виконання проектних робіт на високому рівні якості матеріалів проекту з мінімально можливими витратами праці, матеріалів і енергії при реалізації ТУ.

Задачі автоматизації проектування полягають в такому:

- дослідження властивостей ТУ з метою можливості виконання машинного методу розв’язання завдань проектування при проведенні аналізу існуючої інформації і синтезу структури ТУ;
- визначення можливості математичного моделювання і алгоритмізації функціонування системи і ТУ з необхідним ступенем точності і допустимою гнучкістю при зміні умов навколишнього середовища;
- вибір необхідних технічних засобів проектування роботи з комп’ютерними системами.

Умови реалізації автоматизованого проектування характеризуються потребою в ТУ, можливістю фінансування створення матеріалів проекту і наявністю необхідних технічних засобів проектування. Принципи автоматизації проектування ґрунтуються на використанні сучасних науково-технічних досягнень в області методології, математичного аналізу, електроніки, приладобудуванні і залученні до розв’язання завдань проектування фахівців високого професійного рівня.

Автоматизація проектування включає :

- систему автоматизації проектних робіт САПР;
- математичне і програмне забезпечення;
- технічні засоби проектування.

Автоматизація проектування забезпечує раціональну організаційну структуру системи проектування, гнучке управління у випадках переходу із заданого режиму в інший, при зміні вимог до ТУ існує можливість виконувати задачі, що не мають відношення до проектування ТУ з метою використання часу простою устаткування.

Автоматизоване проектування реалізується системою автоматизації проектних робіт САПР, в якій розподіляються функції проектування між виконавцем і технічними засобами проектування, включаючи комп’ютер,

тобто діє система людина – машина, яка використовує методи машинного розв’язання завдань проектування.

Завдання системи людина – машина розв’язуються в такому порядку:

- людина розв’язує проблеми творчого характеру;
- машина – комп’ютер виробляє установку можливої алгоритмізації проблеми і виконання алгоритму, автоматичне складання систем рівнянь і робочих програм для комп’ютера на основі початкового опису ТУ і системи проектування.

Автоматичне складання рівнянь ТУ і системи проектування звільняє проектувальника від необхідності знань мов, техніки програмування і рутинної роботи по розв’язанню систем рівнянь.

Структура САПР є ієрархічною системою, що реалізує комплексний підхід до автоматизації всіх рівнів проектування і складається з функціональних підсистем:

- технологічної лінії проектування;
- пакетів прикладних програм і програмних систем.

Рівні САПР бувають алгоритмічні, структурно–функціональні і визначаються фізичною суттю ТУ.

Принципи побудови структури САПР реалізуються поетапно шляхом виконання операцій першого етапу:

1. Математичного формулювання завдань проектування і управління системою проектування;
2. Вибір числових методів розв’язання завдань проектування;
3. Розробки алгоритмів ТУ і системи проектування;
4. Запису програм проектування ТУ на алгоритмічній мові;
5. Кодування початкових даних ТУ і системи проектування;
6. Занесення програм і початкових даних ТУ і системи проектування на проміжні носії інформації;
7. Розв’язання завдань проектування ТУ і управління системою проектування;

8. Обробки результатів проектування, побудови графіків, гістограм, таблиць, креслень і ін. документів.

Операції з 1 по 5 і 9 виробляються фахівцями проектування, 6 - оператором обчислювального центру, 7 і 8 - користувачем комп'ютера.

Другий етап включає операції:

- розробку математичних моделей ТУ і системи проектування; методів і алгоритмів, що враховують можливості комп'ютера по точності і універсальності;
- ступінь оптимальності одержуваних результатів;
- універсалізацію формулювань проектних задач;
- єдиний підхід до отримання математичних моделей для цілого ряду ТУ і їх формалізацію;
- складання програм для розв'язку рівнянь на комп'ютері.

Програма автоматичного отримання рівнянь однакова для певного ряду ТУ, складається один раз і використовується багато разів в різних ситуаціях.

Третій етап доповнюється такими операціями:

- системним підходом до проблеми проектування за допомогою комп'ютера;
- створенням САПР, що об'єднує технічні засоби, математичне забезпечення, параметри і характеристики, які враховують особливості ТУ і системи проектування;
- забезпеченням зручності використання програм за рахунок застосування засобів оперативного зв'язку в системі людина - машина;
- спеціальними проблемно-орієнтовними мовами;
- наявністю бібліотек із специфічними параметрами математичних моделей.

Автоматизація проектування прискорює розробку матеріалів проекту шляхом підбору варіантів за короткий строк, скорочення кількості професійних помилок, визначення оптимальних характеристик технологічної

підготовки виготовлення ТУ, підвищення кваліфікації фахівців з освоєння обчислювальних методів і застосування технічних засобів, стандартизації програмно-методичних комплексів, що розширюють функціональні, інтелектуальні та ергономічні можливості.

Комплекс САПР включає математичні моделі, методи аналізу і синтезу ТУ, засоби методичного, програмного, технічного, інформаційного і організаційного забезпечення. Взаємодії структурних ланок САПР з комплексом технічних засобів проектування здійснюється за допомогою засобів забезпечення і регламентується організаційними методами. Розвиток технічних засобів дозволяє використовувати при проектуванні, разом з швидкодіючими комп'ютерами, графічні пристрої, персональні комп'ютери, що забезпечують точність зберігання інформації, рішення проектних розрахунків, оформлення проектної документації. Застосування технічних засобів САПР змінює традиційну технологію проектування, звільняє виконавця від виконання рутинної роботи при розрахунках, оформленні документації і підвищує культуру проектування. Вдосконалення технічних засобів, використання комп'ютера в проектуванні призводить до прояву двох особливостей:

- інтеграції окремих осередків, частин, підсистем проектування в єдину систему проектування, яка виконує всі етапи розробки матеріалів проекту і виготовлення ТУ;
- гнучкості системи проектування, тобто проведення швидкого переналагодження на виконання нових завдань проектування.

Автоматизоване проектування виконується поетапно:

Етапи	Процеси
1.Завдання	Формулювання завдання. Визначення вхідних і вихідних параметрів і характеристик ТУ і системи проектування.
2. Метод	Вибір математичного методу. Аналіз параметрів і характеристик ТУ. Вибір критерію проектування. Розрахунок і оптимізація невідомих параметрів. Використання системи автоматизованого аналізу.
3. Алгоритм	Побудова ефективної математичної моделі. Розробка комплексу алгоритмів, блок-схем, складу і кількості операцій, операндів і констант.
4. Структура	Апаратна і програмна частини. Структурна схема ТУ. Створення програмного забезпечення і його реалізація.
5. Деталізація	Розробка функціональної схеми і робочих програм.
6. Коректування	Коректування апаратних і обчислювальних витрат.
7. Реалізація	Розробка принципових схем. Запис програм ЗП.
8. Втілення	Виготовлення МПСОС. Занесення програми в ПЗП. Спільне випробування і відладка апаратної і програмної частин.

Оптимальна структура і раціональні методи САПР забезпечують високопродуктивне і якісне виконання проектування і виготовлення ТУ.

Математичне забезпечення дозволяє систематизувати і удосконалювати проектування на основі методів і засобів обчислювальної техніки шляхом ефективного управління на базі математичних моделей, використовуючи багатоваріантний і оптимальний напрям реалізації ТУ. Програмне забезпечення САПР включає сукупність програм, процедур, правил, інструкцій, які дозволяють використовувати комп'ютер для розв'язання завдань проектування. Програмне забезпечення ПЗ складається з двох частин :

- загальне (системне) ПЗ, представлене операційною системою ОС, яка є необхідним компонентом обчислювальної системи;
- спеціальне програмне забезпечення СПЗ.

Операційна система ОС виконує планування і організацію процесу обробки, введення-висновку, управління даними, розподіл ресурсів, підготовку і відладку програм, допоміжні операції обслуговування, тобто функції управління комп'ютером.

Створення ОС здійснюється такими підходами:

1. Застосування проблемно-орієнтованої ОС замість універсальної;
2. Використання ієрархічної побудови ПЗ з універсальною ОС на верхньому рівні і підлеглими “вкладеними” ОС на наступних рівнях.

При першому підході можна підвищити КПД і зменшити витрати пам'яті на роботу ОС, оптимізувати обсяг і види послуг, що надаються ОС і виражаються засобами мови управління завданнями, реалізувати мультидоступ з потрібною кількістю автоматизованих робочих місць проектувальника.

Другий підхід створення ОС полягає в такому:

- збереження універсальності ОС, тобто всі можливості загальної обчислювальної системи зберігаються з урахуванням того, що може виявитися корисним в нестандартних ситуаціях, що зустрічаються в САПР;
- створення МІНІ-ОС (системного ядра САПР) на нижчих рівнях ПЗ з поступовим нарощуванням їх вмісту.

Два типи ОС включають:

- постійну обробку даних в режимі мультипрограмування;
- обробку завдань в режимах мультипрограмування і мультидоступу.

Група оброблюваних програм ОП виконується підсистемою підготовки програм або зовнішнім програмним забезпеченням. Друга група управляючих програм УП виконує програми і є внутрішнім програмним забезпеченням.

До склад ОП входять транслятор Т, системні обслуговуючі (сервісні) програми СОП, бібліотека стандартних програм Б для вирішення типових задач. Структурна схема Т забезпечує трансляцію алгоритмічної мови АМ на машинний і включає початковий модуль ПМ, об'єктний модуль ОМ, завантажувальний модуль ЗМ і редактор Р. Прикладна програма користувача на АМ транслюється на машинний, поступає в ОМ, далі ЗМ виконує

завантаження в оперативну пам'ять. Пов'язання окремих модулів в єдину програму шляхом налагодження зв'язків вхідних змінних одного модуля з вихідними змінними іншого виконується програмою Р і здійснює заміну відносних адрес на абсолютні, тобто виконує функцію настройки ЗМ на конкретне місце в оперативній пам'яті. СОП включає програми сортування, об'єднання, відладки і перезапису. включає програму бібліотекар, коректування і обслуговування.

Група УП або внутрішнє програмне забезпечення складається з супервізора С, управління завданням УЗ, управління даними УД. Диспетчер-монітор С представляє резидентну програму. УЗ здійснює інтерпретацію директив УД в систему управління введення-висновок, пошуком, зберіганням, завантаженням в оперативну пам'ять і обробку файлів.

Програми користувача - прикладні або проблемні – є складовими СПО та виконують функцію управління комп'ютером. Характеристики і особливості СПО визначають можливості розв'язання проектних завдань і включають пакети прикладних програм ППП, інструкції користувача ІК, вхідні мови МВх. Складна програма в складі ПЗ проектування називається програмним комплексом. Програма аналізу опису ТУ і завдання, яка розглядає перехідні процеси при проектуванні на середньому ієрархічному рівні, складається з:

- транслятора з вхідної мови на машинну і перекладу початкового завдання в робочу програму;
- об'єктної програми на початкове завдання для аналізу конкретного об'єкта, вираженого засобами вхідної мови;
- бібліотеки підпрограм;
- бібліотеки параметрів і елементів.

Робоча програма до складу програми аналізу опису ТУ і завдання не входить, вона генерується кожного разу по алгоритмах, реалізованих в трансляторі, і виконана на машинній мові після завантаження в оперативну пам'ять дасть необхідне рішення. Транслятор реалізує алгоритми методом

сканування матриці змінних стану, що дає скорочення витрат пам'яті і машинного часу на подальше виконання робочої програми.

Транслятор складається з модулів:

1. Аналізу початкового завдання і розділення гілок зв'язків;
2. Формування матриці змінних стану;
3. Сканування матриці змінних стану і компіляція робочої програми;
4. Здійснення функції діагностики помилок у вхідному описі ТУ.

Бібліотека підпрограм має модульну структуру і складається з чотирьох частин:

- підпрограм математичних моделей ТУ і системи проектування;
- підпрограм числових методів розв'язання завдань проектування;
- підпрограм функцій і функціоналів;
- допоміжних (сервісних) підпрограм.

Бібліотека параметрів і елементів зберігає дані стандартизованих і уніфікованих складових частин ТУ і системи проектування. В результаті об'єднання скомпільованої робочої програми з бібліотечними програмами одержуємо робочу програму у вигляді завантажувального модуля. Загальними рисами робочих програм є :

- програми, на основі яких виконується безпосереднє розв'язання проектних завдань, вони представляють сукупність бібліотечних і генеруючих програм;
- програми, які є спеціальним програмним забезпеченням проектування, вони мають модульну структуру і об'єднані в бібліотеки, які називаються пакетами прикладних програм;
- прикладні програми використовують бібліотеку параметрів і елементів інформаційного забезпечення проектування і є частиною бази даних.

Обчислювальні процеси проектування включають три етапи:

- переклад з алгоритмічної мови на машинну;
- введення початкового завдання і складання робочої програми;
- розв’язання завдань за робочими програмами.

Програмне забезпечення включає декілька підсистем, пов'язаних з ієрархічними рівнями проектування: конструкторським; технологічним; схематичним; функціонально-логічним.

До переліку програм автоматизації проектування входять:

1. Економіка і організація, що здійснює визначення оптимального технічного оснащення і обслуговування, розрахунку річних експлуатаційних витрат і техніко-економічних показників, визначення економічної доцільності, пакет прикладних програм;
2. Обробка матеріалів дослідження (аналізу), спеціальні розрахунки;
3. Технології виготовлення і реалізації ТУ;
4. Розрахунки параметрів ТУ і системи проектування;
5. Транспортування, складування, зберігання;
6. Кошторисні розрахунки, складання кошторисів.

Програмні засоби автоматизованого проектування реалізують моделі по формулах, системах диференціальних рівнянь, теорії масового обслуговування, оптимізації і імітації. Показниками якості програм автоматизованого проектування є машинний час, гранична складність вирішуваних завдань – розмірність завдання, точність розв’язання, ступінь універсальності програм, зручність вхідної мови, зміст і форма вхідної інформації.

Користувач автоматизованого проектування зобов'язаний знати:

- мови спілкування з комп'ютером, необхідні для опису задач і ТУ;
- склад, можливості кожної прикладної програми, оскільки ефективність і умови застосування програм залежать від особливостей конкретної ситуації;

– структуру і принципи об'єднання програм.

Автоматизація геометрії ТУ. Частиною автоматизованого проектування є розв'язання геометричних і графічних задач за допомогою технічних засобів, побудованих на принципах реєстрації голографії, лазера і ін. Графічна форма ТУ, яка є зручною для відображення інформації у вигляді креслення, схеми і іншої подібної документації, є основою для взаємодії людина - геометрична модель. Автоматична побудова геометричної моделі ТУ включає аспекти психології, геометрії і машинної графіки. Базою для автоматизації графічної взаємодії людина – геометрична модель є теорії параметризму і евристичного моделювання.

Інформаційне забезпечення автоматизованого проектування. Сукупність каталогів, довідників, бібліотек на машинних носіях інформації складають інформаційне забезпечення автоматизованого проектування ТУ, що містить відомості про уніфіковані елементи, математичні моделі, числові значення параметрів, типові розв'язання завдань проектування і т.д. Інформаційне забезпечення автоматизованого проектування здійснюється інформаційно узгодженими підсистемами і їх дрібними складовими частинами з метою обслуговування більшої кількості послідовно вирішуваних задач проектування.

Принципи інформаційного забезпечення автоматизованого проектування базуються на оптимальному зв'язку людина – комп'ютер і комп'ютер – зовнішнє середовище. Інформаційне забезпечення включає банк даних, базу даних і бібліотеку. Банк даних забезпечує включення, зберігання і видачу інформаційних масивів, що містять різноманітні відомості про ТУ для використання на подальших етапах проектування даного або нового ТУ.

Банк даних містить інформаційні масиви і програмне забезпечення управління і буває індивідуальним, колективним, довготривалим і оперативним. У індивідуального має бути окремий користувач. Колективний, коли інформація пересилається по паролю, яка використовується іншими виконавцями матеріалів проекту. Довготривалий і оперативний

розрізняються по термінах зберігання інформації і розміщуються в різних видах пристроїв, що запам'ятовують. База даних є сукупністю інформаційних масивів банку даних, що містять відомості довідкового характеру за наслідками виконання етапів і матеріалів проекту і управляється програмним забезпеченням банку даних.

Бібліотека системи проектування ТУ є складовою частиною інформаційного забезпечення цілого ряду споживачів інформацією про досягнення науки, техніки, економіки і соціальні проблеми.

Лінгвістичне забезпечення автоматизованого проектування. Алгоритмічні мови використовуються в автоматизованому проектуванні залежно від вигляду і етапу проектування. Програмування пакету прикладних програм виконується на мовах ФОРТРАН, АЛГОЛ-60, ПЛ-1, Асемблера і машинному. Мови, вхідні для опису задач проектування, забезпечують опис об'єкту, завдання і проведення діалогу користувач – комп'ютер. Лінгвістичне забезпечення автоматизованого проектування на основі співвідношення між вхідними і вихідними мовами здійснюється, після того, як транслятори перетворюють дані на внутрішню мову з подальшим переходом на уніфіковану внутрішню мову і передачу в компілятор машинних програм.

Автоматизоване проектування, забезпечене математичними інформаційними і лінгвістичними засобами виконує розробку матеріалів проекту і реалізацію ТУ у встановлені терміни з високими показниками якості.

Раціональна організація і ефективне управління САПР досягається за умов використання сучасних технічних засобів, які включають:

- комп'ютер з достатньою швидкістю і об'ємом пам'яті;
- автоматизовані робочі місця проектувальника АРМП, конструктора АРМК, технолога АРМТ і т.д., на базі комп'ютера;
- пристрої введення – висновку даних /інформації, пам'яті;

- апаратуру комплексу математичного забезпечення, програмні і графічні засоби;
- центральний обчислювальний комплекс ЦОК, що включає ряд комп'ютерів, терміналів, операційні системи, пункти зв'язку оператора з комп'ютером, що входять в термінали АРМ і ін.;
- цифрові пристрої реєстрації первинної інформації;
- матеріали для забезпечення функціонування технічних засобів і обслуговуючого персоналу.

Склад і структура технічних засобів залежить від складності і значущості ТУ для розвитку науково-технічного прогресу і повинні відповідати таким вимогам:

- забезпечувати розв'язання завдань проектування ТУ за якомога коротший час на всіх етапах, використовуючи комплекс програм ієрархічних рівнів;
- здійснювати ефективну взаємодію фахівців – проектувальників з комп'ютером;
- наявність режиму роботи комп'ютера з розділенням часу для одночасного обслуговування всього колективу проектувальників;
- робота в інтерактивному режимі діалогу, в якому час реакції апаратного комплексу на запит оператора на оперативний обмін інформацією не перевищує 8–10 секунд;
- відкритість комплексу технічних засобів САПР для розширення і модернізації системи проектування відповідно до розвитку науково-технічного прогресу.

Технічні засоби САПР здійснюють аналіз більшої кількості варіантів ТУ за короткий термін, що дозволяє зробити вибір оптимального варіанту на першому етапі проектування і виконувати корекцію матеріалів проекту на подальших етапах, забезпечуючи реалізацію ТУ з максимальним економічним ефектом в мінімальні терміни.

3.3. Моделювання інформаційного потоку та методика розрахунку основних характеристик системи

Технологічне устаткування КСУ може виконувати своє службове призначення тільки за умов надійної роботи системи управління, який узгоджує інформаційний потік з матеріальним потоком, що проходить через КСУ, забезпечуючи реалізацію функцій ТО відповідно до їх службового призначення. Система управління і ТО КСУ складають "нерозривне ціле" – ТО не може працювати без СУ. Тому, в даному розділі розглядаються, перш за все, загальні вимоги до автоматизованої системи управління технологічними процесами (КСУ ТП) КСУ і склад її функцій, структура СУ, описаний універсальний (віртуальний) алгоритм КСУ ТП та систем планування і управління матеріальним забезпеченням КСУ, а також алгоритм управління ТО ГВМ під час реалізації ТП. В розділі наведена методика моделювання інформаційного потоку і розрахунку характеристик ЕОМ. Структура всього інформаційного потоку, а також його складової частини – документообігу.

На підставі дослідження діючих гнучких виробничих систем, різних літературних джерел і діючих стандартів (ГОСТ 34.602-89, 28270-89 і ін.) і міжнародного стандарту ISO сформульовані загальні повні вимоги до автоматизованої системи управління технологічними процесами в токарних і корпусних КСУ, виконання яких забезпечує надійне управління і роботу КСУ в "безлюдному режимі", а також самонастроювання СУ на структуру КСУ. Іншими словами, йдеться про вимоги до інваріантної СУ КСУ. Формулювання загальних вимог дозволяє визначити основні вимоги до алгоритму управління устаткуванням КСУ.

Службове призначення системи КСУ ТП механообробки. Виділення в рамках КСУ ТП автоматизованої СУ транспортно-накопичувальною системою (АТНС), здається "штучним" в тих випадках, коли йдеться про загальні вимоги до СУ КСУ і до її функцій. При конкретній розробці

алгоритмів СУ виділення АТНС виправдане з метою групування окремих конкретних задач транспортування (зберігання) матеріальних тіл в загальному алгоритмі управління КСУ. КСУ ТП призначена для виконання функцій управління наступними процесами:

- зберігання /видачі/ матеріальних ресурсів (вироби, напівфабрикати, заготовки, інструменти, оснащення, пристосування, тара, комплектуючі і відходи); переміщення матеріальних ресурсів по цеху і поза ним; забезпечення механічної обробки; контроль готових виробів; поточного обслуговування і ремонту ТО.

Відповідно до специфіки вказаних процесів можна виділити такі процедури управління: забезпеченням заготовками (складами ресурсів); обслуговуванням устаткування; диспетчування виробничими ділянками і персоналом; транспортно-накопичувальною системою; забезпеченням інструментом і оснащенням. Ці процедури КСУ ТП одержують завдання від КСУП і поділяються відповідно до просторової і технологічної спеціалізації складів і ділянок виробництва.

Підсистеми є децентралізованими, тобто мають незалежні програмно-апаратні засоби для виконання специфічних завдань (функцій) в рамках завдань, які одержують від КСУ ТП .

Взаємодія процедур в рамках КСУ ТП забезпечується:

- шляхом доступу до загальних баз даних всіх користувачів підсистем;
- шляхом обміну повідомленнями мережею передачі даних відповідно до протоколів обміну за ГОСТ 28270-89 та ISO FTAM DP-8571, а також GM MAP (MINI-MAP) і спеціальними протоколами прикладного рівня. Як засоби зв'язку між терміналами системи використовуються технічні і програмні засоби локальних мереж передачі даних, які підтримують вказані протоколи зв'язку і забезпечують високу швидкість передачі даних на значні відстані.

Зв'язок із суміжними системами. Суміжними для КСУ ТП є системи КСУ виробничого планування, КСУ технічної підготовки виробництва, КСУ технічного постачання, цех ремонту, КСУ основних цехів.

Режими роботи КСУ ТП. Всі підсистеми КСУ ТП повинні забезпечувати 9 режимів роботи: початкового завантаження системи (первинного старту в 1 зміну); наладки системи на конфігурацію і параметри устаткування; автоматичного управління (виконання функцій); напівавтоматичного управління (виконання службових призначень підсистемами без зв'язку між собою по локальній мережі – під управлінням операторів); ручний режим (робота устаткування за командами операторів з ручних пультів управління з подальшим введенням станів устаткування і ресурсів у відповідні бази даних); відновлення системи після відмови (рестарт системи); діагностики керованого устаткування цеху і програмно-апаратних засобів самій КСУ ТП з роздруком протоколів діагностики; аварійного завершення роботи при відмові зовнішнього електроживлення цеху; планового завершення роботи системи.

Діагностики системи КСУ ТП. У режимі діагностики система повинна автоматично перевіряти стани програмно-апаратних засобів систем управління і устаткування цеху, а також конфігурацію підключення термінального устаткування. Режим повинен забезпечувати віддалене завантаження або ініціалізацію діагностичних тестів з наступним виведенням результатів перевірки на консольний термінал диспетчера цеху. Негативні результати тестування окремих елементів виводяться також на термінал бюро технічного обслуговування цеху.

Можливості модернізації. Комплекс програмно-апаратних засобів КСУ ТП повинен забезпечувати можливість нарощування функцій і модернізацію окремих програмно-апаратних модулів без необхідності переобладнання всієї системи в цілому. Підключення до системи нових об'єктів управління не повинно викликати переобладнання програмно-апаратних засобів. Розвиток і модернізація системи повинні проводитись у напрямку впровадження систем штучного інтелекту на всіх рівнях підсистем управління шляхом накопичення і використання знань про специфіку

виробництва і правил ухвалення рішень в конфліктних ситуаціях у спеціальній базі знань КСУ ТП.

Рівень підготовки персоналу КСУ ТП. Кваліфікація персоналу КСУ ТП повинна забезпечувати ефективну роботу системи у всіх режимах. Обслуговуючий персонал можна поділити на чотири категорії: системні програмісти (системні інженери); адміністратори баз даних КСУ ТП; диспетчери підсистем; користувачі-оператори (робітники). Системні програмісти повинні знати всю конфігурацію програмно-апаратних засобів КСУ ТП, цілі і закони її функціонування, особливості роботи системи у всіх режимах. Вони щодня проводять комплекси діагностичних робіт, займаються модернізацією і супроводом програмно-апаратних засобів управління. Адміністратори баз даних КСУ ТП забезпечують і відповідають за цілісність, захист і відновлення даних у всіх базах даних. Вони займаються супроводом і підтримкою баз даних. Диспетчери підсистем забезпечують роботу систем в реальному масштабі часу, з'ясовують причини відмов і конфліктів і організовують їх усунення. У напіваавтоматичному і ручному режимах роботи підсистем вони забезпечують координацію робіт і введення інформації про стан об'єктів до баз даних. Диспетчери повинні добре уявляти особливості техпроцесів, що реалізуються в їх підсистемі. Користувачі-оператори (робітники) повинні мати загальне уявлення про роботу системи управління КСУ ТП і правила введення /виведення/ інформації на своїх робочих місцях. Вони повинні освоїти систему кодування команд і даних, з якими працюють. Робітники повинні знати правила роботи з системою і методи усунення нескладних відмов терміналів при введенні/виведенні інформації з робочих місць.

Показники призначення. Програмно-апаратні засоби КСУ ТП повинні мати можливості налагоджування на: організаційну структуру виробництва; методи і критерії оперативно-календарного планування; склад і компоновку основного і допоміжного устаткування; моделі локальних систем управління устаткуванням (УЧПУ верстатів і ін.); види технологічних

процесів виробничих ділянок; види транспортних систем на ділянках і їх параметри.

Якість управління. Програмно-апаратні засоби КСУ ТП повинні задовольняти наступні вимоги якості управління: достовірність управляючої інформації; своєчасність ухвалення рішення; оперативність; гнучкість (можливість настройки і адаптація); повнота (управляючої інформації, достатньої для ухвалення рішення); живучість (збереження загальної працездатності при відмові частини елементів); відповідності глобальним цілям заводу; відповідність вимогам, що пред'являються до систем "людина-машина".

Надійність КСУ ТП. Програмно-апаратні засоби КСУ ТП повинні при роботі забезпечувати такі параметри надійності: напрацювання на збій – не менше 10 годин; тривалість відновлення після відмови (рестарт) – не більше 30 хвилин; тривалість аварійного завершення роботи при відмові електроживлення не повинна перевищувати 12 хвилин (з урахуванням характеристик роботи системи "гарантованого електроживлення" типу NO BREAK); допускається одна відмова системи при прийомі повідомлень з віддаленого робочого місця на 10.000.000 повідомлень; відмови КСУ ТП не повинні негативно впливати на характеристики якості виконуваних виробів. Програмно-апаратні засоби системи повинні запобігати виникненню аварійних ситуацій, що загрожують життю і здоров'ю людей.

Стандартизація і уніфікації. Всі види забезпеченні КСУ ТП, включаючи програмно-апаратні засоби, повинні раціонально використовувати типові, уніфіковані і стандартні елементи. При створенні КСУ ТП необхідно максимально використовувати типові проектні рішення, пакети прикладних програм, уніфіковані проекти і стандарти ГОСТ, ОСТ, ISO, GM MAP (mini-MAP), IEEE.

Функції КСУ ТП

Склад функцій. Кожна підсистема КСУ ТП повинна забезпечувати виконання функції в реальному масштабі часу: планування або

прогнозування параметрів стану об'єктів управління; облік параметрів стану об'єктів управління; контроль параметрів стану об'єктів управління; аналіз параметрів стану об'єктів управління; координацію параметрів стану об'єктів управління і команд на виконання операцій; регулювання параметрів стану об'єктів управління.

Функція планування. При виконанні функції планування має бути забезпечена можливість: вибору одного або декількох критеріїв оптимальності плану; вибору горизонту (терміну) планування; обліку параметрів черг до ресурсів і устаткування; вибору часу на виконання функції; корекції плану; оптимізації плану.

Функція обліку. При виконанні функції обліку повинна бути забезпечена можливість: автоматичної реєстрації змін параметрів керованих об'єктів, робочих технічних документів, персоналу і змінно-добових завдань; розсилки ініціативних запитів на інформацію; підтвердження отримання інформації; перевірки достовірності одержаної інформації; сортування одержаної інформації по відповідних базах даних; протоколювання виконання операцій з інформацією; статистичної обробки облікової інформації.

Функція контролю. При виконанні функції контролю повинна бути забезпечена можливість: контролю інформації за допустимими граничними значеннями, а також на наявність заборонених кодових комбінацій і логічну несуперечність окремих даних; автоматичного визначення наявності і величини відхилень параметрів об'єктів управління, робочих технічних документів, персоналу, змінно-добових завдань і заявок на транспортування; реєстрації величини відхилень.

Функція аналізу. При виконанні функції аналізу повинна бути забезпечена можливість: виявлення можливих причин виникнення відхилень; прогнозування можливих наслідків; техніко-економічного аналізу наслідків виниклих відхилень.

Функція регулювання. При виконанні функції регулювання повинна бути забезпечена можливість автоматичного і діалогового ухвалення рішень з ліквідації неприпустимих відхилень параметрів об'єктів управління, робочих технічних документів, персоналу, змінно-добових завдань і заявок на транспортування.

Призначення функцій. Кожна функція призначена для реалізації тієї або іншої групи задач в рамках службового призначення конкретної підсистеми КСУ ТП при виконанні одержаного від КСУП змінно-добового завдання виробничими ділянками, бригадами і відділами виробництва. Склад завдань і послідовність операцій, щодо їх виконання визначається розробником за узгодженням з технологами і фахівцями КСУП і залежить від службового призначення конкретної підсистеми КСУ ТП. Об'єктами управління кожної функції є такі види матеріальних і технічних ресурсів: технологічне і транспортне устаткування, вироби, напівфабрикати, заготовки, інструменти, оснащення, пристосування, тара, комплектуючі і відходи, а також виробничий персонал. Функції обліку, контролю і аналізу повинні також виконуватися за параметрами стану робочих технічних документів для операторів, основних робітників і операторів настройки, а також управляючих програм для устаткування з ЧПУ.

При реалізації однотипних функцій для різних підсистем КСУ ТП необхідно використовувати єдині програмно-математичні методи. Перелік параметрів, за якими ведеться спостереження, а також керованих параметрів кожного з вказаних видів ресурсів узгоджується.

Часовий регламент виконання функцій КСУ ТП. Вищезгадані функції циклічно виконуються окремими підсистемами КСУ ТП в реальному масштабі часу в міру надходження повідомлень (сигналів) про зміну станів об'єктів управління. При аварійних відхиленнях параметрів об'єктів управління відповідна підсистема КСУ ТП повинна автоматично обрати спосіб компенсації відхилення. Якщо такого способу не знайдено в каталозі типових рішень в базі даних, то система сповіщає про це свого диспетчера і

вимагає його втручання, пропонуючи йому параметри відмови і меню його можливих дій.

Цикл виконання вказаних функцій повинен забезпечуватися як в автоматичному, так і в напіваавтоматичному режимі роботи. У ручному режимі вказані функції виконуються диспетчерами відповідних підсистем вручну з подальшим введенням інформації про параметри об'єктів, що змінилися, в бази даних при переведенні системи в автоматичний режим.

Вимоги до якості реалізації функцій. Якість реалізації функцій визначається ступенем її відповідності службовому призначенню підсистеми, тривалістю виконання, зручністю представлення і введення даних на термінальних пристроях користувачів і диспетчерів, можливістю реалізації в будь-якому режимі роботи системи і якістю реалізації окремих видів її забезпечення КСУ ТП. Показники тривалості виконання функцій повинні відповідати швидкості зміни параметрів технологічних процесів інструментального виробництва і об'єктів управління.

3.4. Основні вимоги до автоматизації системи управління технологічним процесом в інтегрованих комп'ютерних системах управління технологічними процесами

Математичне забезпечення. При реалізації окремих функцій повинні використовуватися математичні методи, що забезпечують високу ефективність їх виконання з урахуванням розв'язання завдань в масштабі реального часу (у темпі зміни параметрів об'єктів управління, а також робочих технічних документів, персоналу, змінно-добових завдань і заявок на транспортування).

При реалізації однотипних функцій для різних підсистем КСУ ТП необхідно використовувати єдині програмно-математичні методи. При реалізації окремих функцій для різних підсистем КСУ ТП слід використовувати типові і стандартні алгоритми і моделі.

Інформаційне забезпечення КСУ ТП. До складу інформаційного забезпечення КСУ ТП входять: класифікатори об'єктів управління, робочих технічних документів, персоналу, змінно-добових завдань і заявок на транспортування та іншої техніко-економічної інформації; нормативно-довідкова інформація; форми представлення та організації даних в системі, зокрема форми документів, відеограм, протоколи обміну даними. Інформаційне забезпечення КСУ ТП повинно бути достатнім для виконання всіх автоматизованих функцій кожної підсистеми КСУ ТП. Для кодування вихідної інформації, що використовується в суміжних і вищестоячих КСУ, повинні застосовуватись класифікатори, що використовуються в цих системах. Загальні ергономічні вимоги до кодування інформації визначає ГОСТ 21829-76.

Інформаційне забезпечення КСУ ТП повинно бути сумісним з інформаційним забезпеченням інших систем, що взаємодіють з нею за: змістом; системою кодування; методами адресації; форматами даних; формами представлення вхідних/вихідних документів і відеограм; мовами маніпулювання і описом даних, що використовуються в СУБД цих систем. Вживані в документах і відеограмах терміни і скорочення повинні бути загальноприйнятими в даній предметній області. В КСУ ТП повинні бути передбачені необхідні заходи щодо контролю, оновлення і дублювання (за потреби) при введенні (виведенні) даних у відповідні бази даних. Бази даних повинні бути розподілені між управляючими підсистемами КСУ ТП таким чином, щоб була забезпечена можливість їх незалежної роботи при збереженні єдності, цілісності і несуперечності даних. При доступі до даних з будь-якого терміналу повинен бути забезпечений контроль доступу, а також захист даних від навмисного або випадкового спотворення, знищення або несанкціонованого копіювання. Для всіх документів і відеограм повинна бути визначена юридична сила інформації, яка в них представлена. Юридичний статус кожного документа повинен бути вказаний на документі і відомий кожному користувачу цього документа.

Програмне забезпечення КСУ ТП. До складу програмного забезпечення КСУ ТП входять: операційна система; прикладні програми виконання функцій підсистем з програмною документацією на них; програмні засоби забезпечення обміну інформацією на всіх рівнях локальних обчислювальних мереж; програмні засоби підтримки інтерфейсів персоналу КСУ ТП; діагностичні програми/тести; засоби налагодження прикладних програм. Програмне забезпечення КСУ ТП повинно бути достатнім для виконання всіх функцій кожною підсистемою КСУ ТП, що реалізуються із застосуванням засобів обчислювальної техніки. При цьому повинна забезпечуватися висока якість виконання кожної функції на всіх режимах роботи КСУ ТП. Програмне забезпечення підсистем КСУ ТП повинно мати такі властивості: функціональна повнота; надійність (зокрема відновлюваність); можливість адаптації і настройки на конфігурацію комплексу технічних засобів і параметри об'єктів управління; можливість модифікації; модульна структура; зручність експлуатації; мобільність – в межах заводу; захищеність; зручність налагоджування.

Програмне забезпечення КСУ ТП повинно бути побудоване переважно на базі типових (стандартних) програмних модулів і пакетів прикладних програм, щодо яких є відомості про їхню ефективність і відповідність вказаним вище вимогам.

Програмне забезпечення КСУ ТП повинно допускати установку, завантаження і відладку по модулях і дозволяти заміну одних модулів на інші без переробки всього комплексу. Програмне забезпечення КСУ ТП повинно бути побудоване таким чином, щоб відсутність окремих даних для виконання одних програм не позначалася на виконанні інших, в яких ці дані не використовуються (незалежність програм). У програмному забезпеченні КСУ ТП повинні бути реалізовані заходи із захисту від помилок при введенні і обробці даних, що забезпечують високу надійність і якість виконання кожної функції.

Системне програмне забезпечення КСУ ТП повинно дозволяти здійснювати налагодження прикладних програмних модулів і їх модифікацію без переривання процесу функціонування системи. При цьому повинен бути забезпечений захист вже інсталюваних і завантажених модулів від випадкових змін. Всі прикладні програмні модулі кожної підсистеми КСУ ТП повинні бути сумісні як між собою, так і із загальносистемним програмним забезпеченням. Програмне забезпечення КСУ ТП повинно забезпечувати ведення протоколу роботи системи (завантаження, старт, відмова, відновлення, зміна режиму, налагодження параметрів) в спеціальному файлі і можливість його сортування і виведення на друк. Програмне забезпечення КСУ ТП повинно забезпечувати обробку збоїв в роботі програмно-апаратних засобів підсистем і об'єктів управління. При цьому повинні виконуватися: виведення діагностичного повідомлення на консоль системи; включення звукової і колірної індикації; реєстрація збою в протоколі; передача повідомлення про збій диспетчеру відповідної підсистеми; вибір варіанту рішення: продовження роботи, припинення функції, її повторення, перехід в режим тестування, логічне відключення пристрою, що відмовив, і перехід на резерв. Програмне забезпечення КСУ ТП повинно підтримувати режими діалогу персоналу з системою на основі меню і заповнення екранних форматів. При цьому повинна бути забезпечена: висока інформативність і наочність представлення даних, що не вимагає запам'ятовування людиною-оператором безлічі команд і правил їх введення (техніка "вікон" (MULTI WINDOW) і піктограм); простота навчання і роботи із системою під час діалогу (техніка підказок (HELP) при введенні даних і команд); мінімальність об'єму інформації, що вводиться з клавіатури терміналу; проста діагностика помилок введення (помилка виявляється і вказується безпосередньо після помилкової команди того чи іншого параметра).

При введенні і корекції таблиць даних з клавіатури терміналу користувачеві повинні надаватися такі можливості: чергове поле, що підлягає

заповненню, повинно автоматично вказуватися системою; управління курсором; система підказок на кожне заповнюване поле або команду, що вводиться. Всі повідомлення, що виводяться на дисплеї персоналу, повинні містити текст пояснення російською мовою, не вимагаючи звернення до довідника повідомлень.

Прикладне програмне забезпечення підсистеми управління транспортно-накопичувальною системою повинне забезпечувати можливість налагодження на: кількість транспортних засобів в системі; набір команд управління транспортним засобом; метод маршрутоспостереження; метод введення транспортного завдання і передачі команд на борт транспортного засобу; метод енергозабезпечення; правила виходу з конфліктних ситуацій; методи управління стрілками і семафорами; схему транспортних шляхів і причалів. Прикладне програмне забезпечення КСУ ТП повинне розвиватися у напрямку використання методів штучного інтелекту при виконанні функцій підсистем КСУ ТП.

Лінгвістичне забезпечення КСУ ТП. До лінгвістичного забезпечення КСУ ТП входять мови: програмування прикладних програм; введення/виведення даних; кодування даних; діалогу користувачів з КСУ ТП; маніпулювання даними; описи процесів і об'єктів управління; правила заповнення форм документів. При реалізації функцій підсистем КСУ ТП повинна використовуватися єдина стандартна мова програмування, що має розвинені засоби налагоджування, бібліотеки стандартних функцій і сумісний з СУБД, що використовується в підсистемах КСУ ТП. У лінгвістичному забезпеченні КСУ ТП повинні бути передбачені засоби для опису будь-якої інформації, що використовується в КСУ ТП, уніфіковані мовні засоби, забезпечені зручність, однозначність і стійкість взаємодії користувачів з програмно-апаратними засобами системи, передбачені засоби виправлення помилок введення, що виникають при взаємодії персоналу з системою. Лінгвістичне забезпечення КСУ ТП повинне бути представлене для персоналу в документації (інструкціях, описах) у вигляді правил

спілкування з системою на всіх режимах її роботи. Мови взаємодії персоналу з КСУ ТП повинні бути стандартизовані в рамках всієї системи і розраховані на користувачів, що не мають кваліфікації програмістів. Лінгвістичне забезпечення КСУ ТП повинне бути сумісне з лінгвістичним забезпеченням суміжних систем.

Технічне забезпечення КСУ ТП. До складу технічного забезпечення КСУ ТП входять технічні засоби для отримання інформації, введення/виведення інформації, підготовки і кодування інформації, зберігання (накопичення) інформації, реєстрації інформації, відображення (візуалізація) інформації, обробки інформації, передачі інформації. Комплекс технічних засобів (КТЗ) КСУ ТП повинен бути достатнім для виконання всіх автоматизованих функцій КСУ ТП і включати в основному серійні вироби. Елементи КТЗ КСУ ТП повинні мати інтерфейси, сумісні один з одним, з локальними обчислювальними мережами, а також з КТЗ суміжних систем. КТЗ КСУ ТП повинні мати достатній термін служби (не менше 10 років) з урахуванням термінів морального зношення. Будь-який елемент КТЗ КСУ ТП повинен забезпечувати можливість заміни аналогічним за функціональним призначенням пристроєм без будь-яких переробок решти елементів КТЗ.

Моделі функціональних елементів КТЗ КСУ ТП повинні забезпечувати їх взаємозамінність при збігу функціонального призначення. Елементи КТЗ, що розміщуються на тих чи інших виробничих ділянках, повинні мати технічні характеристики, достатні для нормальної роботи цих елементів при дії зовнішніх чинників, що виникають на цих виробничих ділянках. При необхідності повинні бути передбачені спеціальні засоби захисту від дії шкідливих чинників, що зустрічаються на цих ділянках. КТЗ КСУ ТП, що використовують засоби обчислювальної техніки, повинні відповідати технічним вимогам згідно ГОСТ 22552 - 84. Елементи КТЗ КСУ ТП, що використовуються для управління технологічним устаткуванням, повинні

забезпечувати підтримку протоколів GM MAP (mini-MAP), RS 531 при взаємодії з підсистемами управління виробничими ділянками.

Управління виробництвом здійснюється на двох рівнях:

- оперативне управління виробництвом;
- диспетчерування.

Управління виробництвом виконується через АРМ диспетчера. При оперативному управлінні система забезпечує здійснення наступних функцій: визначення термінів виробництва; розподіл ресурсів; контроль протікання виробничого процесу; відпрацювання аварійних ситуацій; завершення добового виробництва і виробництва зміни; аналіз стану виробництва і складання звітів.

Оперативне управління устаткуванням (видача повідомлення про заявки для доставки(відвантаження) матеріалів на робочі місця) реалізують АРМи, розміщені безпосередньо на виробництві:

- термінали транспортної системи,
- термінали на гнучких виробничих модулях (ГВМ).

Забезпечення матеріальними ресурсами робочих місць відбувається за запитами на доставку матеріалу з проміжних складів на робочі місця або відвантаження матеріалу з робочих місць на проміжні склади.

Опис системи управління на рівні виробництва. Система оперативного управління здійснює функції оперативного планування і диспетчерування виробництва. При цьому виконуються такі процедури: визначення термінів виробництва; розподіл виробничих ресурсів; спостереження і супровід виробничого процесу; реєстрація подій у виробництві; обробка конфліктних ситуацій; обробка результатів змінного і добового виробництва; архівація і аналіз даних про виробництво, замовлення доставки або відвантаження матеріалів на робочі місця і проміжні склади; внутрішньоцехове транспортування матеріалів; формування транспортно-складських одиниць (ТСО).

Контроль виробничого процесу. Диспетчер у будь-який момент має нагоду здійснити контроль матеріальних потоків у виробництві через свій АРМ. Диспетчер має в своєму розпорядженні такі функції для контролю виробничого процесу: огляд стану виробництва; огляд запасів матеріалів; огляд стану виконання плану і визначення термінів виконання робіт; огляд нарядів; огляд переліку аварійних станів. Функція огляду стану виробництва забезпечує диспетчеру доступ до інформації про стан ТО, яке знаходиться на певних робочих місцях, про наявність і кваліфікацію робітників(операторів) і їх розподіл у виробництві. Окрім вказаних даних, диспетчер має в своєму розпорядженні статистичні дані щодо кількості аварійних ситуацій, кількість перерозподілених виробничих ресурсів, щодо поточних нарядів і т.п. Огляд запасів матеріалів надає диспетчеру інформацію щодо кількості окремих матеріалів, що знаходяться у виробництві. Для кожного типу матеріалу виводяться дані про мінімальний і максимальний запас даного матеріалу у виробництві. На підставі огляду результатів виконання планів по окремих роботах диспетчер виробництва може порівнювати дані про плановану кількість ресурсу, що забезпечує дану роботу, і плановий час початку і закінчення роботи з фактичними даними про хід виробничого процесу. Функція огляду нарядів надає диспетчеру інформацію про стан окремих нарядів, відкритих у виробництві на підставі переліку замовлень на добове виробництво. Функція огляду переліку аварійних станів забезпечує перевірку стану виробництва. Вказана функція також допомагає ухвалити рішення при виявленні конфліктних ситуацій і попереджає про стан ресурсів, що вимагають уточнення.

Реєстрація виробничих ситуацій. Реєстрація виробничих ситуацій здійснюється на всіх АРМах виробництва. На робочому місці оператор шляхом натиснення відповідної клавіші терміналу здійснює заявку на доставку або відвантаження матеріалу. При закінченні прийому або відвантаження матеріалу з робочого місця оператор шляхом натиснення тієї ж клавіші підтверджує виконання заявки. На підставі сигналів з робочих

місць відбувається реєстрація подій доставки або відвантаження матеріалів на окремі робочі місця. На проміжних складах розміщені термінали, через які транспортні оператори одержують заявки на доставку матеріалів на робочі місця або відвантаження матеріалів на проміжні склади. Через ці термінали транспортні оператори також підтверджують початок і закінчення виконання окремих операцій транспортування. На підставі підтверджень через термінали в системі управління здійснюється контроль потоку транспортних операцій і реєструються операції транспорту. На модулях розміщені термінали, за допомогою яких оператори розпізнають ТСО і реєструють тип і кількість матеріалу, що знаходиться в сформованій ТСО. На підставі даної реєстрації здійснюється контроль запасів і ТСО при одночасній реєстрації подій в рамках виробничої діяльності. На робочих місцях контролю якості за допомогою відповідних терміналів відбувається реєстрація браку і якості виробів. На робочих місцях контролю якості відбувається також реєстрація відмов виробництва. Станції контролю якості організаційно належать підсистемі контролю якості як правило, розташовані на виробничих ділянках. Дані про кількість придатних виробів реєструються для аналізу, який виконується в рамках підсистеми контролю якості. Одночасно, на підставі цих даних, в підсистемі управління реєструються повідомлення про відхилення від необхідної якості.

Ситуації, які не можуть реєструватися, повинен реєструвати диспетчер виробництва на своєму АРМі. В даному випадку, йдеться про події початку і закінчення робіт та реєстрації окремих аварійних станів, які неможливо знайти.

Обробка аварійних станів у виробництві. З аварійними станами на виробництві пов'язані такі дані: час виникнення простою; код причини простою; час закінчення простою; параметри, які додатково характеризують помилку. Дані щодо аварійних станів зберігаються в хронологічному порядку.

В рамках виробничого процесу повідомлення про аварійні стани можна підрозділити на два класи:

- попередження про відхилення – при появі події, яка є нестандартною виробничою ситуацією, але не викликає його зупинки,
- повідомлення про аварійний стан – при появі події, в результаті якої відбулася зупинка виробничого процесу.

Диспетчер виробництва повинен правильно визначати тип аварійного стану, оскільки розпізнавання всіх станів виробничого процесу не може бути повністю автоматизоване. Якщо аварійний стан є результатом помилкових даних про хід виробничого процесу, він повинен здійснити корекцію даних. Якщо аварійний стан є результатом помилки оператора, диспетчер цеху повинен надіслати повідомлення оператору, який допустив помилку. Якщо виниклий аварійний стан представляє збій в роботі ТО, він повинен сформулювати запит на ремонт ТО і направити його службі обслуговування і ремонту.

Архівация даних і аналіз виробництва на ділянках. База даних (БД) в рамках системи планування виробництва складається з трьох частин: нормативна частина БД, робоча частина БД, архів даних про виробництво. У нормативній частині БД знаходяться всі нормативно-довідкові дані, опис робіт, виробничих ресурсів і дані про запаси матеріалів. В цій частині БД знаходяться також логічна схема виробництва, кодифікатори і класифікатори, перелік наявних необхідних ресурсів і т.п. Наповнення цієї частини БД здійснюється службою технологічної підготовки виробництва. У робочій частині БД знаходяться всі діючі плани, замовлення і наряди, а також переліки подій на виробництві (перелік технічного обслуговування і т.п.). Закінчені переліки робіт і заявок (виробничі переліки), наряди і плани зберігаються в первинній або статистичній формі в архіві даних про виробництво. Події, які реєструються на підставі запитів на доставку або відвантаження матеріалу на робочі місця, а також на підставі введення даних через окремі термінали на ділянках, автоматично вводяться до виробничого

переліку. Після закінчення добового виробництва система автоматично генерує протокол добового виробництва. Наряди заповнюються, а дані автоматично зберігаються в архіві даних про виробництво. Добові, щотижневі і щомісячні протоколи диспетчер цеху формує введенням запиту в свій АРМ. Окрім стандартних протоколів і статистики диспетчер за допомогою програмних засобів для формування протоколів може одержати будь-яку статистику на підставі нарядів або даних з архіву даних про виробництво. Робочі і архівні дані про виробництво на окремих ділянках доступні також підсистемам оперативного управління і технологічної підготовки виробництва.

Відповідно до вказаних типів персоналу визначена пріоритетність і повноваження доступу до різних баз даних, до системних програмних засобів, до прикладних програм, до термінальних пристроїв, що забезпечується системою секретних паролів. Секретність пароля забезпечується тим, що при його введенні з клавіатури не відбувається його відображення на екрані терміналу. Зміна паролів відбувається за узгодженням з адміністратором баз даних і системним програмістом. Після вимушеного припинення роботи програмно-апаратних засобів системи протягом певного часу виконується відновлення робочого стану ЛВС і баз даних які керують ПЕВМ і центральною ЕОМ, що забезпечує автоматичний режим роботи системи. В цей час входить час завантаження операційних систем відключених ЕОМ, необхідних прикладних програм і даних. Управління підсистемою в цей період (відновлення) здійснюється від ЕВ "гарячого резерву" (дублюючої функції основної ЕОМ), яка автоматично включається в роботу при відмові основної ЕОМ підсистеми. Достовірність інформації, що зберігається в БД, забезпечується також проведенням регламентних контрольних перевірок стану технологічного устаткування, інструменту і оснащення на кожній ГВМ, а також програмно-апаратними засобами аварійної діагностики. Кожен файл центральної бази даних ведеться і підтримується паралельно на двох незалежних носіях. Крім того,

щодня робляться копії підсумку змін даних за добу. Постійна нормативно-технологічна інформація, що зберігається в базах даних КСУ ТП, дублюється на незалежному носії (диску) кожного разу після сеансів коректування, видалення або введення цієї інформації. Для автоматичного рестарту системи після відмови забезпечується постійне відображення параметрів стану керованих процесів і об'єктів в незалежній пам'яті (дисковій) після кожної зміни станів вказаних об'єктів. Робочі місця диспетчерів складів, бригадирів ділянок, ІРК і диспетчера цеху обладнуються пристроями для запису/прочитування кодів матеріальних ресурсів і роздруку форм документів, що використовуються на цих робочих місцях, які використовуються при відновленні бази даних КСУ ТП.

Алгоритм (процедура) управління забезпеченням інструментом і оснащенням КСУ ТП. Алгоритм управління забезпеченням КСУ інструментом і технологічним оснащенням представлений на рис.4.1 (Додаток) і складається з ряду блоків T_i . Управління включає процедури: здійснення замовлень на загальну кількість інструментів і обладнання (блоки $T_{10}...T_{60}$); обліку і супроводу складу інструментів і обладнання ($T_{70}...T_{105}$); контролю зборки і установки інструментів та оснастки на устаткування ($T_{110}...T_{240}$).

Блоки T_i виконують наступні функції. T_{10} - з інформації, що зберігається в базі даних, вибираються дані про інструмент і обладнання і використовуються для складання загального списку заявок на інструменти. T_{20} - запит складу (видів) інструментів з БД технологічно оброблених замовлень. T_{30} - склад і кількість інструментів, прив'язаних до потреб замовлень, потрібних для визначення тривалості виконання замовлення. Ця інформація може бути одержана з БД у формі, загальній для елементів, що зношуються і не зношуються. Потреби в інструменті визначаються з такої інформації: – тривалість різання для кожної деталі; кількість деталей в партії; гарантована стійкість інструменту. T_{50} - сумарна кількість визначається з урахуванням запасів заготовок та інструменту. Це забезпечується

отриманням даних від служби обліку інструментального складу (ІС). Елементи, вказані в списку, ідентифікуються за кодовим номером і вказується їх кількість на складі. Т60 - як тільки будуть визначені загальні потреби в елементах інструменту і обладнання, визначена їх наявність на складі, ця інформація заноситься до інформаційного файлу в БД, який передається також в бюро аналізу і забезпечення інструментом для складання замовлень на інструменти і обладнання. Т70 - як тільки в ІС доставляються замовлені інструменти, обладнання або запчастини до них, дані щодо їх місцезнаходження повинні бути відразу введені до БД. Т80 - інформація про замовлені інструменти повинна забезпечувати однозначну ідентифікацію і відповідність доставленим інструментам і обладнанню. Т90 - елементи, що поступили, повинні бути перевірені на відповідність виданому замовленню і перевірені на якість. Дані для перевірки вибираються з бібліотеки інструменту і каталога обладнання. Т100 - перевірка інструментів може виявити їх невідповідність замовленню. В цьому випадку служба забезпечення інструментом сповіщає про це постачальника з метою їх повернення. Т105 - елементи, визнані придатними, записуються до каталогу складу інструментів і обладнання для інформування диспетчера, про те що вони можуть бути використані при виготовленні продукції. Т110 - при переналагодженні виробництва з однієї деталі на іншу необхідно доставити на робочі місця необхідну кількість інструментів і обладнання для обробки нової партії. Т120 - встановлена на робочому місці інструментальна наладка перевіряється на можливість використання для обробки нової партії. В результаті формуються завдання на зняття інструментів і обладнання, які не потрібні для реалізації нового завдання. Це робиться з метою звільнення державок інструментів для установки нових інструментів і обладнання (якщо потрібно). Т130 - з інформації в бібліотеці інструментів і каталога обладнання визначається склад пристосувань для установки нових інструментів і обладнання. Т140 - існуючі інструменти, не потрібні в даний час, демонтуються на складові частини. Т150 - нові інструменти збираються

із складових частин, що лежать на складі інструменту і обладнання. T160 - демонтовані інструменти виключаються із списку доступних. T170 - новий інструмент перевіряється на відповідність специфікаціям. T180 - складові частини демонтованого інструменту відправити на склад, включити до каталогу складу інструментів і обладнання. T190 - якщо новий інструмент не відповідає специфікаціям, то він повинен бути замінений на необхідний. T200 - новий інструмент заноситься до списку доступних в БД для подальшого використання. T210 - використані інструменти і обладнання повертаються з робочих місць на склад. T220 - інструмент вимагає попереднього чищення/миття до перевірки. Після миття всі інструменти і обладнання контролюються для визначення міри придатності для подальшого використання. T230 - інструменти і обладнання, визнані непридатними, розмонтовуються для повторного використання справних складових частин і заміни/відновлення пошкоджених елементів. Придатні елементи зберігаються для подальшого використання. T240 - елементи, придатні для подальшого використання, заново ідентифікуються і заносяться до списку об'єктів, що зберігаються на складі. Це означає, що вони доступні для використання.

Процедура управління матеріальним потоком заготовок в КСУ
ТП. Управління постачанням матеріалами і заготовками КСУ має на меті підтримку необхідного об'єму матеріалів (заготовок), що використовуються в технологічних процесах. Процедура управління включає: процедуру планування замовлень матеріалів; процедуру управління розміщенням матеріалів на складі; процедуру координації прийому /видачі/ матеріалів.

Алгоритм процедури управління постачанням матеріалами показаний на рис.3.2 (Додаток) і складається з ряду блоків Y_i , що виконують наступні функції. Y_{10} - метою процедури управління постачанням матеріалів є формування замовлення на поставку матеріалів і графіка їх отримання після отримання плану-графіка від системи планування виробництва. Якщо якісь з матеріалів вже закуплені у постачальників, тобто вже оплачені і завантажені

на склад, то в міру реалізації графіка поставок система управління коректує замовлення. Y20 - одержавши інформацію про очікувані видачі матеріалів (заготовок) на робочі місця, процедура поновлює інформацію в замовленні і графіку отримання матеріалів. Y30 - з КСУВ поступає перспективний план виробництва і передається процедурі управління матеріалами. Y40 - використовуючи інформацію від КСУВ (про планування виробництва) і дані про поточні запаси матеріалів, а також графік поставок замовлених матеріалів, процедура управління постачанням матеріалів формує план розміщення матеріалів, що поступають на складі, а також періодично поновлює список наявності матеріалу на складі. Процес розміщення повинен мати доступ до запитів на матеріали з робочих місць і повинен ідентифікувати заготовки, які прямують на виробництво. В кінці виконання процесу розміщення всі операції видачі наперед визначені і складений план-графік видачі матеріалів зі складу з урахуванням пріоритетів. Y50 - збійні ситуації (зміни) в стані запасів (такі як заявки на видачу, які неможливо здійснити) або пошкодження складського устаткування можуть викликати ситуацію, при якій деякі ланки не можуть бути заповнені. Процедура розміщення це враховує. Про заявки на матеріали, які не можна задовольнити, повідомляється як системному диспетчеру, щоб відповідні цим заявкам ресурси не резервувалися, так і системі планування виробництва, щоб можна було організувати корекцію плану. Y60 - ця частина процесу управління матеріалами залежить від одержуваних запитів. Необхідно одержати запит, ідентифікувати джерело і тип запиту з метою вибору дії. Виділяються три типи запитів на матеріальне обслуговування: запит на отримання матеріалів від зовнішнього постачальника. Це може бути отримання матеріалів від іншого заводу або переміщення матеріалів з цехів даного заводу. Запит на отримання матеріалу із заготівельного виробництва. Запит на видачу матеріалу заготівельному виробництву. Цей запит видається у тому випадку, коли при управлінні матеріалами не виконуються заявки в процесі проглядання переліку інших типів запитів (див. Y180). Y70 - якщо

запит є запитом на термінову видачу матеріалів іншому виробничому процесу, то здійснюється видача матеріалів процесу з вищим пріоритетом. Y80 - якщо запит є запитом на отримання заготовок деталей, які обробляються іншим (підготовчим) процесом, то буде видана відповідь на видачу. Y90 - якщо запит ідентифікується як завершене групове завдання (або його частина) заготовчим виробничим процесом (відрізка заготовок, наприклад), то необхідно точно ідентифікувати заготовку. В ідентифікатор заготовки включений не тільки ідентифікатор деталі, але й статус заготовки. Стан заготовки може бути: "повністю оброблена і оглянута", "частково оброблена" або "вимагає доробки і нового огляду". Y100 - дані про завершення плану використовуються для оновлення інформації про матеріали (заготовки) і пристосування на складі і плановані видачі у виробництво, оскільки завершення плану може призвести до звільнення складу і плановані видачі більше не будуть потрібні. Y110 - якщо запит на обслуговування є запитом на отримання зовнішніх поставок на склад, то активізується відповідний процес. Y120 - як тільки поступила зовнішня заявка про поставку на склад, перевіряються інформаційні параметри матеріалу, що поставляється, і порівнюються з очікуваними Y20. Y130 - повинно бути ухвалене рішення про те, в який час зручно одержати матеріали на складі, оскільки це може призвести до переповнення складу. Відмова у видачі (прийомі) матеріалів виникає, якщо стан (завантаження) складу або штабелерів не дає можливості успішно зберігати матеріали. При цьому враховують такі чинники: вільну місткість складу, характеристики матеріалів, що зберігаються в даний час і наявність вільного штабелера для видачі (завантаження) матеріалів. Y140 - якщо ухвалено рішення відмовити в прийомі матеріалів (заготовок), то видається команда повернення штабелеру і інформація постачальнику про те, що матеріал не прийнятий. Y150 - якщо матеріал приймається, то здійснюється його відвантаження, якщо необхідно, розпаковування і розміщення в осередках складу. Y160 - всі запити на прийом матеріалів викликають переміщення на складі. Для ефективних

операцій зі складування матеріалів доцільним є виконання "здвоєних" (або "суміщених") операцій типу "узяти-покласти". Ця процедура призначена для мінімізації холостих переміщень штабелера. Наприклад, якщо якась сукупність деталей повинна бути розміщена в осередках "X", то визначають, чи потрібно що-небудь витягнути з осередків, розташованих поблизу від X (або по дорозі назад від X до приймальної позиції складу). Необхідно постійно визначати поточний стан складу і запитів для реалізації стратегії "поєднання" складських операцій. Y170 - якщо можливо здвоїти операцію, то другу операцію вибирають з урахуванням параметрів першої. Наприклад, першою операцією є завантаження певного матеріалу в певний порожній осередок. Тоді другою операцією буде витягання заготовок зі складу у відповідності до однієї з операцій, вказаних в пріоритетному списку видачі матеріалів, потрібних протягом поточного періоду техпроцесу (що визначене в Y40). Розклад здвоєних операцій враховує запити на переміщення і стани устаткування складської процедури. Y190 - команди управління складом містять адреси початкової і кінцевої точки доставки. Y200 - під час вироблення команд постійно є наочними і обновлюються дані про статус матеріалу (заготівки) з тим, щоб рішення ухвалювалися на основі "найсвіжішої" інформації.

Система управління транспортом і техпроцесами гнучких виробничих модулів КСУ ТП. Розглянемо процедуру оперативного планування і диспетчерування (управління) транспортними операціями цеху механічної обробки, оснащеного КСУ. Процедура виконується згідно алгоритму, представленому на рис.3.3 і складається з ряду функціональних блоків Мі. Програмне забезпечення (ПЗ), розроблене на основі алгоритму, модифікується для адаптації до технічних організаційних умов конкретного цеху механічної обробки. МІ - Процедура оперативного планування і диспетчерування транспортних операцій. Блоки Мі мають наступне смислове навантаження. М10 - автоматизована система управління виробництвом (КСУВ) видає пріоритетно-послідовний список завдань цеху на одну робочу

зміну. Ці дані узгоджуються з технологічною інформацією від автоматизованої системи технологічної підготовки виробництва (АС-ТПВ), що описує набір технологічних операцій для кожного завдання. Диспетчер цеху (або програмний модуль ресурсів в автоматичному режимі) за цим списком розділить завдання і операції на відповідне устаткування. М20 - автоматизована система управління технологічними процесами (КСУТВ) повідомляє про виконання чергового за списком завдання системі АСПВ і КСУВ, щоб за цими даними складався розклад на наступний календарний період. М30 - після запиту КСУТВ сповіщає процедуру планування про доступність ресурсів, виробничі ресурси, про збої і відмови, щоб врахувати реальний стан виробництва. М40 - як тільки програма ЧПУ після відладки занесена в бібліотеку і готова до використання, система управління програмами запитує файл змінно-добового завдання (ЗДЗ) про зміну статусу планової операції ЧПУ. М50 - система КСУТВ передбачає можливість оперативного управління з пульта диспетчера, оскільки в деяких випадках вимагається змінювати пріоритет завдань або черговість обробки деталей на певних верстатах для того, щоб поміняти оснащення, провести налагоджування, обслуговування, ремонт. Відміна завдань потрібна або для припинення обробки певних партій, або для направлення їх на огляд, або повернення їх на склад.

При цьому необхідно контролювати потік завдань на ГВМ ручної обробки і інформувати диспетчера ресурсів про закінчення ручних операцій М60 - диспетчер ресурсів (у автоматичному режимі КСУТВ - це програмний модуль, в ручному режимі роботи КСУТВ - це людина) передає запит автоматизованій транспортно - накопичувальній системі (АТНС) для формування заявки на транспортування і складування. При її виконанні - одержує підтвердження. М70 - диспетчер ресурсів запускає процедуру управління ГВМ для взаємодії з ЧПУ верстатів. Процедура стежить за сигналами про доставку і завантаження деталей, завантаження програм ЧПУ, використання інструментів і автоматичний запуск планових операцій.

Оскільки диспетчер ресурсів здійснює загальне управління, то модуль управління ГВМ в автоматичному режимі роботи КСУТВ завжди готовий до обміну даними. М80 - диспетчування - це циклічно організований процес. Через певні інтервали, наприклад, кожні 2 секунди, диспетчер перевіряє стан всіх ресурсів і порядок обробки деталей ЗДЗ і вирішує, що робити далі. Пауза між перевірками може бути заповнена режимом очікування, до тих пір, поки не відбудеться подія, що вимагає переміщення тари або запуску операцій. Процес ухвалення рішення враховує стан всього виробничого устаткування, навіть якщо потрібне локальне рішення. Причина у тому, що подальше виконання виробничих завдань, непрямо (по ресурсах) пов'язаних з даною подією, може бути неможливим через брак ресурсів, але стане можливим після поповнення накопичувачів ділянок ГВМ потрібними ресурсами або їх переналагодження. Диспетчер при кожній перевірці з'ясовує поточний статус кожного верстата або ГВМ, зайнятого поточною роботою. Якщо операція тільки починається, може знадобитися запит на завантаження програми ЧПУ з верхнього рівня, або її доставки, або передачі управляючих сигналів, що ініціюють події типу старту програми або пересилки її з вхідного буфера ЧПУ. На автоматизованих робочих місцях (АРМ) ділянок ГВМ, де використовуються ручні операції, диспетчер виконує введення/виведення для операторів ГВМ докладних технологічних інструкцій в т. ч. в графічному вигляді. М90 - програма диспетчера ресурсів; при необхідності, повинна застерігати про виниклі відхилення або конфлікти (перерви, відсутність завдань або неприпустиме завантаження устаткування, брак ресурсів) М100 - розпізнається кожне повідомлення від АТНС про завершення транспортної операції Після завершення транспортування система коректує таблицю розміщення ресурсів з відображенням в БД разом з показником доступності ресурсів. У списку операцій виділяються завершені технологічні операції. М110 - коли база даних повністю відкоректована, диспетчер ресурсів запускає чергові операції обробки для певних партій деталей, направляючи їх на відповідні технологічним маршрутам робочі місця (опрацьовуючі центри).

У кожному конкретному випадку диспетчер надає пріоритети ділянкам ГВМ, вирішуючи питання черговості розміщення ресурсів що транспортуються на тому або іншому робочарі. М120 - в процесі рішення кожна група ГВМ і з'ясовуються всі можливі варіанти переміщень ресурсів усередині групи і завантаження верстатів. Цей механізм віддає пріоритет верстату, що має мінімальне завантаження. М130 - після ухвалення всіх маршрутних рішень диспетчер ресурсів зупиняється до наступного сканування станів ресурсів і запитів, як описано в М80. М140 - вибрані верстати обслуговуються транспортними засобами доставки і навантаження. Якщо всі транспортні засоби повністю завантажені, то необхідність у виборі пріоритетних маршрутів відпадає. М150 - для ГВМ потрібні особливі операції для підтримки їх повного завантаження, наприклад, пошук для порожніх палет вхідних осередків-накопичувачів або повернення порожніх палет з вихідних осередків. Ці рухи можуть здійснюватися незалежно від аналізу диспетчером списку пріоритетів обробки, оскільки вони не впливають на цей список. М160 - якщо всі ГВМ зайнято роботою, ремонтуються або виключені з технологічного процесу, то нові завдання їм не передаються. Наявність локальних накопичувачів впливає на можливість спрямування деталі на(від) ГПМ. Якщо ГВМ забезпечений вхідним буфером або пристроєм для зміни палет, то палета прямує до ГВМ, навіть якщо ГВМ зайнятий. Для ГВМ, що не мають буферних осередків-накопичувачів, потрібна затримка доставки, яка здійснюватиметься одночасно з відвантаженням готових деталей. М170 - щоб вибрати порядок переміщення партій усередині групи ГВМ, необхідно проглядати список пріоритетів обробки деталей. Кожне завдання відповідає можливому вибору маршруту (М170- М340). М180 - коли проглянуті всі завдання, аналізується наступна група ГВМ. Список до кінця не є очевидним, якщо наявні ресурси транспорту вичерпані. М190 - якщо не можна забезпечити роботою жоден ГВМ з групи ГВМ через відсутність необхідних інструментів, то автоматично включається алгоритм ухвалення рішень про переналагодження (М430 - М520) для кожного ГВМ, що стоїть без роботи.

M200 - кожній деталі відповідає її варіант технологічного маршруту між ГВМ групи. M210 - якщо деталь знаходиться на визначеному ГВМ і вона готова до відвантаження, то їй привласнюється код готовності до відвантаження (M250). M220 - якщо наступна необхідна операція із списку ЗДЗ вже призначена на визначений ГВМ, то її можна виконувати. Інакше можна виконати цю операцію після аналізу списку завдань на іншому ГВМ. Зміни технологічного маршруту повинні супроводжуватися вказівками, куди направляти деталь (наприклад, на огляд). M230 - якщо процедура забезпечення заготовками і матеріалами повідомляє, що необхідний матеріал для першої операції недоступний, то деталь із списку ЗДЗ пропускається. M240 - можуть виникнути інші перешкоди до завантаження чергової заготовки, наприклад, відсутність управляючої програми ЧПУ для наступної операції або вимога оператора зупинити обробку деталей і інші, залежні від конкретної ситуації. M250 - якщо для декількох типів деталей з'явилися одні і ті ж перешкоди на визначених ГВМ, то диспетчер зупиняє обробку заготовок всієї групи деталей і, якщо вони не можуть бути направлені на наступні операції, то їх потрібно повернути на склад. M260 - після визначення маршруту доставки заготовки на окремий НІМ або ділянку ГВМ, вибирається адреса для наступної операції. При порушенні маршруту операціями типу "огляд" або "прибрати" диспетчер визначає, куди буде направлена деталь. У циклі перевіряються одна за одною послідовність операцій і стан відповідних ГВМ. При визначенні маршруту доставки від визначеного ГВМ не розглядаються зайняті або несправні ГВМ. Наявність у ГВМ вхідних буферних накопичувачів дозволяє направляти заготовки навіть на зайнятий ГВМ. M270 - якщо після детального аналізу з'ясується, що жоден ГВМ не може виконати наступну операцію, то, якщо деталь (партія) готова до вивантаження з ГВМ, її повертають на склад або в буферний накопичувач. Пріоритетні деталі відправляються на зберігання тільки тоді, коли вони не можуть бути відразу направлені на наступну операцію. M280 - деталь може бути повернена на склад або в буферний накопичувач, коли робочар

доступний, а на складі є вільний осередок, з якого пізніше деталь можна направити на наступну операцію. Продовжується проглядання наступного завдання на обробку (M170). M290 - як частина внутрішнього циклу вибору ГВМ для наступної операції даної деталі, необхідно розглядати доступність транспорту, тобто транспортна система повинна бути готова перевозити деталь, що виготовляється, з даного місця на вибраний ГВМ. M300 - завершальні перевірки готовності ГВМ залежать від типу ГВМ, наприклад, якщо в ГПМ є верстат, на якому можлива ручна складна обробка, то вони мають спеціальний статус. M310. управляючий контролер ГВМ (див. M50) може включати механізми (пристрої) для вибору деталей, що відправляються на верстати ручної обробки, тому що деякі деталі відправляються тільки на ручну обробку, якщо це не заборонено диспетчером. Наступна перевірка (M320) застосовується до ГПМ ручної обробки, де використовуються змінні інструменти. M320 - завершальна перевірка визначає, чи запитував оброблювальний центр установку нових інструментів для наступної операції. Попередні перевірки доступності інструментів виконуються тільки тоді, коли всі інші критерії вказують на можливість ухвалення рішення про їх використання. Якщо верстат не має необхідного інструментального набору, то розглядається інший справний верстат того ж типу, з числа тих, що входять в ділянку ГВМ. M330 - диспетчер ресурсів визначає, чи можна відправляти деталь в пункт призначення. Використовується певна оперативна стратегія, відповідно до якої для одного робочого вибирають вантажі, що направляються в одну область цеху. M340 - для одноразового запиту на переміщення система АТНС одержує завдання на перевезення деталі з її поточної позиції у вказаний пункт призначення. Попередня перевірка станів транспортної системи і приймального осередку конкретного ГВМ впливає на подальші команди АТНС. ГВМ повинен одержати команду на прийом деталі. Процес відбувається в M170 таким чином, щоб решта деталей могла переміщуватись між потрібними ГВМ, якщо для них звільняються робочі. M350-M420 - коли доставка залежить від відповідної деталі, диспетчер

ресурсів перевіряє всі обмеження на відправку деталі, що чекає відвантаження. Диспетчер шукатиме ГВМ, готовий прийняти цю деталь, і якщо не знайде, то спробує відправити її на склад. Послідовність дій, виконуваних однією транспортною одиницею, передається АТНС як запит. Для кожного транспортного завдання визначаються адреси доставки і відвантаження (прийому/видачі). М430 - заміна інструменту на верстаті може бути ініційована запитом оператора при черговій перевірці інструментів або диспетчером ресурсів. М440 - список операцій сканується для виділення деталей, для яких необхідно визначити маршрути проходження на верстаті, для виконання планових операцій обробки. М450 - деякі ділянки складаються з декількох однакових ГВМ. Коли міняється список інструментів на певному верстаті, система управління інструментами враховує наявність інструменту, який в цей час знаходиться в інструментальних магазинах інших ГВМ. М460 - визначається, чи достатній наявний набір інструментів на певному верстаті для наступної планової операції або потрібна заміна. М470 - якщо замін не вимагається, то система чекає доставки заготовок. М480 - визначається оптимальний набір інструментів, що відповідає операціям найвищого пріоритету із списку операцій. М490 - деякі інструменти залишаються на верстаті, якщо у них залишається достатній ресурс. М500 - система управління інструментом одержує повідомлення про те, які інструменти будуть використовуватися далі, а які повертатися в інструментальний склад. М510 - системі управління АТНС видаються команди доставити нові інструменти і забрати старі. М520 - системі управління ГВМ передається список інструментів, які доставлятимуться або звільнятимуться. М540 - АТНС обслуговує запити диспетчера ресурсів і будь-яке інше джерело транспортних запитів. Система управління АТНС передає команди транспортування контролерам транспортерів (робочарів) і складів і обмінюється сигналами готовності з транспортною і складською системами цеху. М550 - відбувається обмін повідомленнями для отримання інформації, що описує поточний стан транспортних пристроїв і виявлення того

устаткування, включаючи накопичувачі, яке зайняте або несправне. Ці дані звіряються з даними, які використовуються диспетчером ресурсів. Якщо потрібно, інформація коректується. М2. Процедура управління транспортом. М560 - підсистема управління автоматизованою транспортно-накопичувальною системою (АТНС) готова задовольняти запити на доставку. Такі запити можуть надходити з будь-яких ГВМ і можуть задаватися вручну або автоматично, наприклад, за допомогою прикладних програм диспетчера. Запити на перевезення обробляються під час чергового сканування або спеціальною програмою під час переривання. М570 - для виконання транспортування підсистема управління АТНС повинна вибрати транспортну одиницю з кількох, однотипних або різнотипних. М580 - вхідні запити повинні відповідати обмеженням доступних транспортних засобів. М590 - якщо транспортний запит не може бути задоволений, то викликається процедура повідомлення про помилку (відмові обслуговування). М600 - в транспортній системі відразу декілька навантажувачів і робочар можуть бути вільними. Необхідно обрати певний вид робочара або навантажувача залежно від розміру і ваги вантажу. Крім того, відстані від поточного положення робочара до точки завантаження/вивантаження впливає на цей вибір. М610 - необхідно визначити область буфера (пункту відстою деталей) при виконанні загальної команди "доставити в буфер". М620 - оптимізація маршруту між пунктами завантаження і доставки припускає мінімізацію довжини шляху, проте іноді довший шлях дозволяє уникати зіткнення з іншими робочарами, які рухаються в інших напрямках. При цьому планується детальний маршрут, що включає повернення робочара на місце, де він чекає наступних команд, і можливі альтернативні маршрути у разі перешкод типу відмови ГВМ прийняти вантаж. М630 - деталізований маршрут переводиться у формат повідомлень і комунікаційний протокол так, щоб він був сприйнятий програмами, що обслуговують транспортування, або оператором АТНС. М640 - закодовані транспортні команди передаються програмі управління АТНС. Для режиму з ручним управлінням текст команди виводяться на

дисплей оператора АТНС. М650 - для позначення того, що маршрут запланований, статус устаткування і транспортного запиту змінюються. М660 - одночасно обслуговуються і інші транспортні запити для повноти використання можливостей транспорту. М670 - всі дії і переміщення транспортних засобів розпізнаються системою управління АТНС. М680 - по сигналах від транспортних пристроїв АТНС стежить за їх проходженням по маршруту. М690 - АТНС розпізнає всі виниклі відмови, простої або помилкові переміщення транспортних засобів. М700 - для невиконаних транспортних запитів з причини відмов, викликається процедура повідомлень про помилки. При цьому транспортній системі в цілому або конкретному робокару привласнюється код відмови і система не використовує їх аж до повідомлення про закінчення ремонту. М710 - при успішному завершенні транспортної операції диспетчер і джерело запиту одержують повідомлення про це. М720 - локальна система маршрутного управління робокарами є стандартною операцією і управляється вручну або програмованим контроллером, що входить до складу транспортного устаткування. Контролер путнього управління розпізнає кодовані транспортні команди. М730 - контролер путнього управління обробляє ситуації "зайнятість шляху" і "можливість зіткнень робокарів". М740 - робокар при цьому чекає дозволу, перш ніж виїхати на дану ділянку маршруту. М750 - коли ділянка шляху вільна від робокарів, які рухаються в іншому напрямку, він починає рухатися до наступної контрольної точки або в кінцевий пункт. Контролер вирішує, чи можна вибрати альтернативний шлях. Послідовності команд завантаження і розвантаження виконуються автоматично на локальному рівні системи управління АТНС. М760-М790 - виявляються помилки програмного забезпечення і активізуються процедури диспетчерського модуля. Після кожного успішно завершеного транспортування, починається нове, і так доти, доки не будуть виконані всі введені транспортні команди. М810 - ГВМ сповіщається про доставку матеріалу, інструментів, програм ЧПУ, контейнерів для стружки.

Повідомлення про доставку містить код вантажу, щоб оператор ГВМ або ділянки ГВМ міг визначити правильність посланого йому вантажу. У разі доставки тари з інструментами повідомлення повинне містити таблицю з вказівкою часів їх стійкості і кодів гнізд магазинів для їх установки. М820 - пункт доставки перевіряється на можливість прийому вантажу і "причалювання" для вивантаження робокара. При цьому виконуються всі місцеві приготування до прийому робокара. Статус ГВМ змінюється на "очікування доставки ресурсів". М830 - робокар позиціонується біля приймального столу ГВМ, при цьому перевіряється точність позиціонування, після чого диспетчеру дається повідомлення, що робокар прибув і готовий для наступних дій. М840 - оператор ГВМ контролює, щоб вантаж був той, що оголошений в М810. Перевірка включає контроль ідентичності вантажу, і, якщо можливо, характеристик: тип, розміри, орієнтація, стан поверхні і т.д. Якщо робокар привіз те, що очікувалося, то дії визначаються М860. Якщо відбулася помилка, то оператор ГВМ (бригадир) вводить команду "помилка вантажу", і робокар відвезе вантаж на склад. Статус ГВМ "очікування доставки ресурсів" зберігається, в АТНС повідомляється про помилку. М860 - вантаж передається ГВМ. Після перевантаження тари статус робочого місця (ГВМ) змінюється на "робота". АТНС повідомляється про кінець вивантаження і робокар звільняється. М870 - доставка вантажів на ГВМ, ділянки ГВМ здійснюється відповідно до змінно-добового завдання з урахуванням пріоритетів деталей.

М3 Процедура управління техпроцесом. М900 - на тих ГВМ, де існує вибір програм ЧПУ, він здійснюється оператором ГВМ. М910-М915 - він проводить серію тестів, що з'ясовують, чи може дана програма працювати на цьому центрі. Тести включають перевірку того, чи дана програма, відповідні інструменти і деталі розташовані в накопичувачах ГВМ і готові до роботи, а також перевірку того, чи можна завантажити програму без шкоди для поточної програми. Оператор ГВМ повинен намагатися запустити програму ЧПУ відразу, як тільки поступила заготовка, а у разі помилки програми -

видати повідомлення "відмова". М920 - оператор викликає по програмі з накопичувача заготовки і інструменти за їх кодами, встановлює заготовку і інструменти згідно до вимог програми. Обробка виконується з компенсацією похибки установки заготовки. Статус ГВМ "робота" відображає роботу ГВМ за програмою. М930 - в процесі роботи програми змінюється статус деталі, що виготовляється, і показники обробки інформації про кількість готових деталей і час завершення їх обробки потрібні диспетчеру і використовуються АСТПВ. На цьому етапі надійна робота ГВМ по випуску продукції стабільної якості забезпечується надійністю механічного, інформаційного і електронного інтерфейсів основного і допоміжного інтерфейсів ТЕ. Розроблено спеціальний алгоритм управління ГВМ на цьому етапі. Контроль в процесі роботи і адаптивне управління виконуються як за програмою, так і самим оператором ГВМ. М940 - при виникненні відмови при роботі ГВМ система ЧПУ CNC і оператор перевіряє наявність помилок. Кількість контрольованих параметрів повинне бути достатніми, щоб однозначно описати кожну відмову, що порушує роботу центру. Під відмовами розуміють відмови інструментів, програм, неправильна подача повітря або рідини, неправильна робота приводів подач, неправильне розташування заготовки, перевантаження по потужності і т. д. М950 - в цьому випадку в КСУТП і службі ремонту повідомляється про відхилення параметрів від норм. Робітник або ремонтник повинен визначити параметри відмови. М970 - інструменти, у яких закінчується строк служби, не можна використовувати на фінішних операціях. Під час операції виконується перевірка можливості видалити інструмент з роботи після закінчення операції. М980 - можливість заміни інструменту, що зносився, без зупинки роботи центру залежить від типу інструменту, від конструкції центру і доступності інструменту для заміни. Можливі 3 варіанти: а) запитати різальну пластину для інструменту, або однотипний інструмент; б) повна зупинка ГВМ і заміна інструменту; в) автоматична заміна інструменту під час обробки деталі. М990 - після виконання процедури заміни інструменту в пам'ять УЧПУ вводяться нові

параметри інструментів з вказівкою коду інструменту, адреси розташування, величини корекції і терміну придатності. M1000 - якщо заміна інструменту вимагає зупинки верстата, дані про старий інструмент повинні містити ступінь його зношення - у цьому випадку інструмент більше не використовується, ГВМ одержує спеціальне завдання (M1070) для зміни інструменту. M1010-M1030 - після завершення програми ЧПУ, ГВМ виконує вивантаження обробленої деталі. M1040 - якщо на ГВМ або ділянці ГВМ є декілька об'єктів (вантажів) для видачі, то порядок видачі на склад запитується у диспетчера. M1050 - деталь повинна бути виведена з робочої зони верстата, вийнята з пристосування і встановлена в тару (на палету) для подальшої передачі на АТНС. Склад підготовчих дій залежить від конфігурації ГВМ, вигляду і розмірів заготовок. M1060 - кожного разу, коли заготовка змінює позицію, орієнтацію або стан в ГВМ, це відображається в пам'яті УЧПУ ГВМ, у тому числі і факт закінчення підготовки до вивантаження. M1070 - ГПМ одержує від оператора команду видалити певну деталь. Це може стосуватися до будь-якого вантажу і вимагає виконання багатьох умов. Наприклад, заготовка може виявитися непридатною для подальшої обробки через поломку інструменту. M1080 - оператор ГВМ повинен визначити, чому вантаж затримується для відправки на склад. Причини, які призводять до неможливості ГПМ виконати команди - це відмова транспортера (маніпулятора) вантажів, перекіс тари або тримача інструменту. M1090 - код вантажу змінюється перш, ніж вантаж буде відправлений на склад. Після цього він передається на видаючу позицію столу. M1100 - аналогічно до M1060. M1110 - ГВМ сповіщують про наближення робочара для завантаження на нього тари з деталями, інструментами, програм ЧПУ. Таке повідомлення посилається в одному з двох випадків: якщо деталь готова до відправки з ГПМ, то диспетчер дає команду системі АТНС прислати найближчий робочар. В цьому випадку робочар повинен прибути до пункту завантаження, який визначається в M1060. Інакше, ГВМ одержить команду видалити деталь, як описано в блоці

M1070. M1120 -пункт завантаження перевіряється на можливість прийому робокара. Статус ГВМ "очікування відправки" відображає очікування робокара M1130 – після прибуття робокар обмінюється сигналами з ГВМ і перед продовженням роботи центр перевіряє точність позиціонування, яка повідомляється йому системою АТНС. M1140 - вантаж з ГВМ передається на робокар. Після передачі статус ГВМ "очікування робокара" змінюється на "очікування ресурсів" або "робота", якщо на ГВМ є інші заготовки (відповідно до змінно-добового завдання). Робокар повідомляє АТНС про успішне приймання вантажу і переміщає вантаж під управлінням путнього контролера. На цьому цикл управління процедурою транспортування закінчується, система переходить до виконання чергового транспортного запиту. Вище розглядалися алгоритми "макро" - команд КСУ ТВ управління КСУ. У алгоритмах виділялася система АТНС з метою виділення (для зручності програмування) задачі управління матеріальним потоком. Слід зазначити, що деякі пункти алгоритмів розширюються описом різних процедур, пов'язаних з різними етапами організації роботи. На рис. 3.4, 3.5 (Додаток) наведені алгоритми: управління ситуацією "відмова устаткування"; управління ситуацією "запуск завдання"; управління ситуацією "завершення завдання"; управління ситуацією "запит ресурсів з ГВМ".

Алгоритм технологічних запитів віртуальному ГВМ (гнучких виробничих модулів). Наступним етапом процесу аналізу і моделювання СУ КСУ є алгоритм управління ТЕ в рамках ГПМ, який дає можливість реалізувати функції ТЕ відповідно до функціональної моделі. У загальному випадку, під СУ віртуального ГВМ розуміють такий ідеальний набір команд, який є першою частиною інформаційного потоку для ТЕ ГВМ, що реалізовує повну функціональну специфікацію, яка можлива при виготовленні деталей-представників, виготовлення яких є метою проектування КСУ. Розроблено алгоритм технологічних запитів системи управління віртуальним ГВМ. Розглянемо для прикладу алгоритм управління токарним ГВМ, який є частиною узагальненого алгоритму. Він передбачає певну послідовність

команд і дій робота, верстата, різних локальних накопичувачів. Всього виділено три цикли роботи віртуального токарного ГВМ, які передбачають:

- установку і заміну загального інструменту в револьверній головці (головках) верстата;
- установку і заміну кулачків патрона верстата;
- установку заготовки в патроні верстату і її заміну на нову після обробки.

Відповідно до цього алгоритм запитів також розбитий на три частини. На рис.3.6 представлений фрагмент укрупненого алгоритму. Після визначення конкретної функціональної специфікації ГПС і ГВМ, що входять до нього (відповідно до положень розділу 2) і вибору ТЕ ГВМ (відповідно до положень розділу 3) в алгоритмі вивиконують такі модифікації:

- виключаються запити, які не відповідають службовому призначенню ГВМ і не передбачені функціональною специфікацією ГВМ, ставляться так звані "заглушки" нереалізованих гілок алгоритму;
- визначають можливість поєднання циклів роботи устаткування ГВМ, що стає можливим при використанні у складі ГВМ або декількох роботів, або декількох револьверних головок у верстаті, або декількох патронів верстата; можливе поєднання, наприклад, циклів установки інструменту і кулачків у верстат, циклів установки заготовки і інструменту у верстат і ін.

Рис. 3.6. Укрупнений алгоритм технологічних запитів системи управління віртуальних ЧПМ. Рис. 3.6 (закінчення). Укрупнений алгоритм технологічних запитів системи управління віртуальних ЧПМ. (Додаток)

Таблиця сигналів зворотнього зв'язку ТЕ ГВМ. Кожен технологічний запит викликає певні дії машин -елементів ТЕ, які вимагають своєрідного "вивчення" обставин, в яких їм належить працювати, а також підготовки тих машин, з якими їм необхідно взаємодіяти за допомогою "вторинних" запитів, та команд. Іншими словами, виникає друга частина інформаційного потоку. Завдання прийому технологічних запитів від СУ ГВМ, вторинних команд, що "розвивають" запит на рівні взаємодії окремих

машин ГВМ, а також сигналів зворотного зв'язку від ТЕ і ухвалення рішення щодо дозволу/регулювання дій ТЕ ГПМ є завданням блоків ухвалення рішення (п. 2.3 3).

Розглянемо для прикладу специфікацію блоків ухвалення рішення для ГВМ токарної обробки, який обробляє заготовки деталі типу "диск". Для даного випадку (рис 3.7.) необхідно розглянути специфікацію 16 блоків, які ухвалюють наступні рішення (арабські цифри - порядкові номери блоків):

1. "стоп" обертання шпинделя;
2. обертання шпинделя з частотою N хв. ;
3. відкриття кулачків патрона;
4. відкриття блоку кріплення різального інструменту в револьверній головці,
5. повернення револьверної головки в "п" позицію;
6. включення прискореної подачі з виведенням револьверної головки в її "початкову позицію" (у "нуль верстата");
7. дозвіл на зняття кріплення різального інструменту в револьверній головці;
8. дозвіл на передачу (прийом) різального інструменту, змінних кулачків патрону, заготовки в (з) інструментальний магазин, магазин технологічного оснащення, накопичувач заготовок (блок "діалогу" - робота з магазинами і накопичувачами ГВМ),
9. дозвіл на введення (виведення різального інструменту, змінних кулачків патрона, заготовки в (з) робочу зону верстата, в блок кріплення інструменту револьверної головки, в патрон, в кулачки патрона;
10. всі заготовки палети оброблені, зняти кріплення палети;
11. передача палети зі всіма обробленими заготовками в позицію розвантаження;
12. передача палети з позиції очікування в робочу позицію;

13. передача палети на позицію очікування з робочара (або з будь-якого іншого пристрою, що здійснює доставку палет в позицію очікування ГВМ, де вона ідентифікується);

14. передача палети з позиції розвантаження робочару (транспортному засобу);

15. дозвіл інструментальному магазину на поворот для пошуку нового інструменту;

16. дозвіл магазину технологічного оснащення на поворот для пошуку потрібного оснащення.

Аналіз інформації, яка передається і використовується в діючих ГПС в Україні і за кордоном, дозволив скласти таблицю відповідності (таблицю рішення), яка визначає специфікацію інформації, одержавши яку в повному об'ємі, блок ухвалення рішення має право ухвалити рішення. У верхньому рядку таблиці вказаний порядковий номер блоку ухвалення рішення (стовпці таблиці), в лівому стовпці таблиці вказаний фрагмент специфікації сигналів зворотнього зв'язку про стан блоків і вузлів компонентів устаткування, а також "вторинні" команди, якими вони обмінюються при виконанні технологічних запитів (рядки таблиці). На перетині рядків і стовпців вказується "1", якщо даний блок повинен приймати дану інформацію при ухваленні рішення, і вказується "0", якщо ця інформація даному блоку не потрібна. Після визначення конкретного вибору ТЕ ГВМ в таблиці виконуються такі зміни: виключаються сигнали, які не властиві функціям вибраного ТЕ ГВМ, ставляться "заглушки" рядків таблиці, які не реалізуються, іншими словами, ці рядки виключаються. Ці модифікації здійснюються експертною системою ЕС6 багаторівневої експертної системи.

В процесі роботи ЕС6 формуються і аналізуються наступні управляючі "ланцюжки" для різних циклів роботи ГВМ у вигляді, представленому на рис. 3.8. Основа специфікації команд - службове призначення ФБ ТЕ, загальний вигляд якого представлений на рис.3.8. Технологічні запити, що є за своєю суттю командами функціональним блокам ТЕ, є макрокомандами

електроавтоматики ГВМ і представляють логіку роботи управляючої мікро-ЕОМ ГВМ. Сукупність же блоків ухвалення рішення і процесів ухвалення ними рішень, які регулюють роботу ТЕ відповідно до запитів, слід розглядати як основу програми логічних контролерів або мікро-ЕОМ управління ГВМ.

3.5. Розрахунок основних характеристик ЕОМ. Математична модель інформаційного потоку.

Зв'язки КСУ ТП з КСУП, АСТПВ, інформаційно-вимірювальною системою управління якістю, і системами САПР використовуються при обміні між підсистемами з різною періодичністю і інтенсивністю з метою своєчасного виконання наступних основних операцій забезпечення технологічних процесів на робочих місцях:

- доставка змінно-добових завдань (ЗДЗ) на ГВМ і дільниці;
- доставка технологічної документації;
- доставка матеріалів і заготовок;
- доставка різних видів технологічного оснащення;
- доставка комплектів інструменту для обробки деталей з вказівками їх геометричних і стійкісних параметрів;
- доставка управляючих програм для ЧПУ верстатів;
- доставка засобів ремонту і обслуговування на ГВМ і дільниці;
- видалення відходів виробництва.

Найпоширенішими по типу інформаційних зв'язків системи управління КСУ бувають: деревовидно-ієрархічними (рис.3.9) і розподіленими (рис.3.10) (Додаток). У першому випадку зв'язок кінцевих пристроїв (устаткування) відбувається через посередництво центрального комп'ютера. У другому випадку у складі кінцевого устаткування є мікро-ЕОМ. Остання структура переважає, оскільки устаткування, що включається в КСУ різноманітне щодо виконання і програмної (апаратної) частини СУ, тому "об'єднання" їх СУ в

комплексах ГВМ доцільно здійснювати у вигляді мікро – ЕОМ - модулів

	КСУ ТП	КСУ ТП видає
--	--------	--------------

(мікро-ЕОМ складу, мікро-ЕОМ транспорту, мікро-ЕОМ ГВМ і ін.), які в подальшому об'єднуються в центральній ЕОМ.

Більшість існуючих методик аналізу інформаційних потоків в КСУ відноситься до проектування інформаційних баз даних, які у разі централізованого управління є фактично інформаційними моделями виробничих ділянок. Теоретично, найкращою щодо зменшення інтенсивності інформаційних потоків слід вважати систему, граф якої повно зв'язаним. На практиці реалізація такої системи неможлива, проте, будь-яку систему можна аналізувати на її близькість до ідеальної.

Зв'язки КСУ ТП з КСУП, КСУТП, інформаційно-вимірювальною системою управління якістю, САПР

Функціональні підсистеми	КСУ ТП одержує	КСУ ТП видає
САПР/К-Т	Техпроцеси, програми ЧПУ, супровідні документи.	-
ПДО	Змінно-добові завдання ГВМ і ділянкам. Ліміти на отримання матеріалів, оснащення і інструментів.	Поточний стан устаткування, ССЗ, ТСО, ресурсів, заготовок, оснащення. Фактична витрата матеріалів
БОТiЗ	-	Відомості про виходи на роботу.
Бюро економії і госпрозрахунку	-	Дані про виконання плану, незавершеного виробництва, наряди на оплату робіт, дані про одержаний матеріал, оснащення.
Служба ОТК	-	Дані про брак по видах, причинах і винуватцях.
ГВМ	Дані про виконання ССЗ ГВМ. Фактичне завантаження устаткування (модуля). Опис виробничих ситуацій. Команди вимірювання статусу ГВМ (ділянки). Сигнали завершення ССЗ.	ССЗ ділянки ГВМ. Склад конструкторсько-технологічної докум. з програмами ЧПУ обробки ДСЕ. Таблиці специфікацій ресурсів для детале-операцій. Рекомендації по усуненню відмов.

АТСС	Отримання наявності матеріалів (стан осередків складу). Підтвердження виконання транспортно-складських	Заявки на транспортно-складські операції.
Інструментальний склад	Стан інструментів в ІПС.	Заявки на отримання інструменту.

Визначимо матрицю $O = [h_{ij}]$ $i = 1, n; j = 1, n$, де h_{ij} - інтенсивність потоку інформації з вузла i у вузол j (під вузлами розуміються блоки ухвалення рішення), n - число вершин графа. Знайдемо найкоротший шлях з i в j і запишемо його у вигляді вектора-рядка $Z = [z]$, $k=1, \dots, n$, де $z_k = 0$, якщо вершина k - не лежить на найкоротшому шляху і $z_k = h_{ij}$, якщо вершина знаходиться на цьому шляху. Виконаємо це для кожної пари різних вершин графа і з одержаних векторів побудуємо матрицю Q розміру $n(n-1) \times n$ вигляду:

$$Q = [Z^{1,2} \ Z^{1,3} \ \dots \ Z^{(n,n-1)}]. \quad (3.1)$$

Відзначимо, що в загальному випадку $h_{ij} \neq h_{ji}$. Тоді $S_j = \sum_{i=1}^{n^2-n} h_{ji}$ - інтенсивність повного потоку інформації через вершину j , а інтенсивність потоку транзитної інформації через вершину j рівна:

$$S_j T = S_j \sum_{i=1}^n (h_{ij} + h_{ji}). \quad (3.2)$$

Очевидно, що чим краще спроектована СУ КСУ, тим менше для кожної з вершин буде значення S . Тому можна записати цільову функцію:

$$R = \sum_{i=1}^n S_i \Rightarrow \min \quad (3.3)$$

Пропонований критерій справедливий у разі однакового ступеня надійності компонент СУ. Розповсюдимо методику на випадок різної надійності компонент СУ КСУ. Хай інтервал часу між збоями у вузлі k є випадкова величина d_k , розподілена згідно довільного закону. Тоді інтенсивність виникнення відмов в цьому блоці ухвалення рішення буде

рівна $m_k = \frac{1}{M[dk]}$, M - символ математичного очікування. Очевидно, що якщо через один з блоків протікає великий транзитний потік інформації, то він повинен мати високий ступінь надійності, оскільки від життєздатності цього вузла залежить працездатність інших компонент СУ. Транзитний потік інформації S , який протікає через вузол j слід розглядати як сукупність декількох потоків від різних вузлів. Кількість таких компонент сумарного потоку інформації також надає вплив на якість роботи системи управління КСУ. Це пов'язано з тим, що два різні блоки можуть мати однакову величину транзитного потоку, але в одному з вузлів сумарний потік складається з декількох "невеликих" потоків, а в іншому - такий потік єдиний. В цьому випадку вихід з ладу першого вузла спричинить серйозніші наслідки, ніж другого.

Кількість транзитних потоків через блок j визначимо:

$$M_j = \sum_{i=1}^{n^2-n} (q_{ij}) - \sum_{k=1}^n \{X(h_{kj}) + (h_{hj})\}, \quad (3.4)$$

де $X(a)$ - функція Хевісайда:

$$X(a) = \begin{cases} 0, & \text{якщо } a < 0 \\ 1, & \text{якщо } a > 0 \end{cases}. \quad (3.5)$$

Враховуватимемо, що відносна цінність інформаційних потоків може бути різною. Для цього введемо матрицю $P = [p_{ij}]$, де $0 \leq p \leq 1$ - вага (цінність) інформаційного потоку, що протікає з вузла i у вузол j , і складемо матрицю $G = [g_{ij}]$ за тим же правилом, що і матрицю Q , з тією лише різницею, що замість h_{ij} указується p_{ij} . Тоді відносну цінність потоків, що протікають через вершину j можна визначити як

$$L_j = \sum_{i=1}^{n^2-n} g_{ij} - \sum_{k=1}^n (p_{kj} + p_{jk}). \quad (3.6)$$

Введемо узагальнений коефіцієнт $B_j = M_j * L_j$, який є показником впливу збою у вузлі j на роботу системи управління в цілому. Якщо цей коефіцієнт розглядати як множник інтенсивності відмов, то для вузлів з

великим значенням B_j слід забезпечити більший ступінь надійності, ніж для вузлів з меншими значеннями. З урахуванням сказаного цільова функція /4.1/ може бути записана таким чином:

$$R = \sum_{i=1}^n S_i B_i m_i \Rightarrow \min. \quad (3.7)$$

де $B = B_i / \max B_j^T$, і $m_j = m_i / \max m_k$, ($j=1, \dots, n$; $k=1, \dots, n$).

Єдиним реальним технічним пристроєм, що реалізує фізичний умовно повний зв'язок, є локальна обчислювальна мережа (ЛВС).

Розрахунок швидкодії і продуктивності ЕОМ підсистем (АРМ операторів) КСУ ТП. На основі аналізу складників інформаційного потоку КСУ, початкових характеристик бригад і ГВМ, а також складу наочних баз даних проводиться розрахунок обсягів інформації, сформованої в КСУ ТВ.

Необхідна швидкодія обчислювальних засобів КСУ ТП розраховується за формулами /3.3/ і /3.4/:

$$\text{Обсяг обчислювальних робіт } Q_{\text{вр}} = \sum_{i=1}^n Q_i * C_i, \quad (3.8)$$

де Q_i - обсяг інформації, що вводиться по i -ій задачі, в символах; C_i - коефіцієнт, що визначає питому кількість машинних операцій на символ в ЕОМ інформації по i -ій задачі.

Для i -ої задачі по диспетчеруванню, обліку і регулюванню виробничих процесів $Q = (0,95 - 2,2) * 10^3$. (3.9)

Розрахункова швидкодія: $V_p = (K_a * Q_{\text{вр}} * B) / (\Phi_c * K_{\text{пр}})$ (оп/сек) /4.4/, де K_a - коефіцієнт, що враховує збільшення обсягу виконаних робіт з автоматизації програмування $K_a = 1, 2$; $Q_{\text{вр}}$ - загальний обсяг виконаних робіт за добу; Φ_c - норматив середньодобового завантаження ЕОМ; $K_{\text{пр}}$ - коефіцієнт поєднання, який показує яка частина одержаного часу припадає на процесор; $B=1/3600$ - коефіцієнт, що погоджує розмірність. Для визначення пропускної спроможності (продуктивності) інформаційних каналів введення/виведення і передачі даних для обчислювальної мережі КСУ ТП розраховується середня продуктивність для найбільш навантаженого інформаційного каналу (звичайно - канал підсистеми/АРМ диспетчерування КСУ).

Середня продуктивність АРМ диспетчера в зміню складає:

$$P_{\text{дисп.ср.}} = Q_{\text{дисп.}} / N; \quad (3.10)$$

$$Q_{\text{дисп.}} = \sum_{i=1}^1 \{w_i q_i\}; \text{ де } w_i = M_i * S_i, \quad (3.11)$$

де: $Q_{\text{дисп.}}$ - кількість інформації, оброблюваної на АРМ диспетчера в зміню; N - число годин в зміні; w - кількість повідомлень i -того типу, які передаються на АРМ диспетчера за зміню; q - середня інформаційна місткість повідомлення i -того типу; M - кількість потенційних джерел і приймачів повідомлень i -того типу; S - кількість виробничих ситуацій в зміню, які вимагають передачі повідомлень i -того типу на АРМ диспетчера.

При цьому продуктивність ЕОМ підсистеми диспетчерування (АРМ диспетчера) повинна задовільняти наступну вимогу:

$$P_{\text{дисп.ср.}} \geq P_{\text{max}},$$

де P_{max} - продуктивність АРМ диспетчера при ухваленні рішення по повідомленню, що поступило, $q_{i \text{max}}$, що має найбільшу довжину для такого типу повідомлень:

$$P_{\text{max}} = W * q_{i \text{max}} / T_i, \quad (3.12)$$

де W - максимально можлива частота появи повідомлень $q_{i \text{max}}$ за зміню.

Зазвичай $q_{i \text{max}} = 2 * 10^3$ байт, що відповідає обсягу інформації на повному екрані АРМ, $W = 40$ одиниць/зміню для кількості робочих місць, що входять в контур диспетчерування більше 100 шт.

$$T_i = T_{\text{виводу}} + T_{\text{аналізу}} + T_{\text{введення}} + T_{\text{псвм}}, \quad (3.13)$$

де $T_{\text{введення}}$ - час на читання повідомлення; $T_{\text{аналізу}}$ - час на перегляд і аналіз таблиць БД, які характеризують виробничу ситуацію і діалог з бригадирами (операторами) бригад; $T_{\text{введення}}$ - час на редагування таблиць в БД; $T_{\text{псвм}}$ - час обчислювальної роботи ПЕВМ.

Таким чином для забезпечення ефективної роботи СУ КСУ при виконанні свого службового призначення при її розробці слід дотримуватись основних вимог, які визначені в даному розділі. Для створення програмно-математичного забезпечення системи ефективного управління КСУ в

автоматичному (автоматизованому) режимі можна використовувати наведені інваріантні алгоритми управління технологічними процесами (КСУ ТП) КСУ в цілому, включаючи управління автоматизованою транспортно - накопичувальною системою (АТНС), управління комплексом основного і допоміжного ТЕ окремих модулів, управління забезпеченням інструментом і оснащенням КСУ і управління потоком заготовок в КСУ. Інформаційний потік при управлінні ТЕ належить структурувати на вказані складові. Їх слід аналізувати, це необхідно для виключення непотрібного дублювання команд і сигналів (що підвищує надійність процесу управління). Для цього, а також для визначення вимог до функцій датчиків зворотного зв'язку можна використовувати методику моделювання інформаційного потоку і спосіб групування сигналів зворотнього зв'язку від окремих елементів ТЕ і запити (команди) від управляючих ЕОМ у вигляді "блоків ухвалення рішення". При оптимізації структури СУ КСУ і конфігурації локальної мережі слід використовувати методику моделювання інформаційного потоку і методику розрахунку основних характеристик ЕОМ.

Багаторівнева (ієрархічна) експертна система (ЕС) комплектації сумісного ТЕ КСУ складається з пакету програм, які при розв'язанні завдань, важких для експерта-людини при проектуванні КСУ (розробки альтернативних специфікацій сумісного по інформаційному і механічному інтерфейсах ТЕ КСУ і його СУ для реалізації АТП, з подальшим вибором одного комплексу відповідно до заданих вимог) .ЕС дозволяє на основі застосування звичайних процедур автоматизованого моделювання і проектування з використанням евристичних знань одержувати результати, що не поступаються за якістю і ефективністю рішенням експерта (розробника). ЕС розв'язує завдання, що важко формалізуються, або завдання, що не мають алгоритмічного розв'язку, підвищуючи ефективність (при загальному зниженні витрат) проектних процедур.

ЕС можна характеризувати декількома параметрами:

1. Розвиненість /потужність/ бази знань і можливість її поповнення визначають опрацьованість і якість рішень експертної системи.

2. Знання, що дозволяють експерту (або експертній системі) одержувати якісні і ефективні розв'язання завдань, які є в основному евристичними, експериментальними, невизначеними, правдоподібними. Причина цього полягає у тому, що розв'язувані завдання в більшості випадків є неформалізованими або слабо формалізованими. Необхідно також підкреслити, що знання експертів мають індивідуальний характер.

3. Враховуючи формалізованість розв'язуваних завдань і евристичний, особовий характер використовуваних знань, користувач (експерт повинен мати можливість безпосередньої взаємодії з експертною системою у вигляді діалогу).

У зв'язку з тим, що основним джерелом ефективності ЕС є знання, необхідно, щоб вона володіла здатністю отримувати знання. Процес придбання знань можна розділити на : 1. отримання знань від експерта; 2. організацію знань, що забезпечують ефективну роботу системи; 3. представлення знань в зрозумілому системі і користувачу вигляді. Процес придбання знань здійснюється на основі аналізу діяльності експерта, який розв'язує реальні завдання. Евристичний характер знань робить їх придбання досить трудомістким процесом. Трудомісткість і неформалізованість цього процесу призводять до того, що він є найпроблемнішим місцем при створенні ЕС і взагалі систем штучного інтелекту.

До неформалізованих завдань слід відносити такі завдання, які мають одну або декілька з таких характеристик:

- завдання не можуть бути повністю задані в числовій формі;
- цілі не можуть бути виражені в термінах певної цільової функції;
- не існує строгого алгоритмічного розв'язання задач.

Неформалізовані завдання звичайно мають такі особливості: помилковість, неоднозначність, неповнота і суперечність початкових даних; мають знання про проблемну область і про розв'язання завдання; володіють

великою розмірністю простору розв'язання, тобто перебір при пошуку розв'язання досить великий; володіють даними, що динамічно змінюються, і знаннями.

ЕС відрізняються від систем обробки даних тим, що в них використовується символічний (а не числовий) спосіб уявлення, символічний вихід і евристичний пошук рішення (а не готове рішення).

Специфіка додатку ЕС полягає в такому.

1. ЕС застосовуються для розв'язання тільки важких практичних завдань.

2. За якістю і ефективністю розв'язання ЕС не поступаються розв'язанням експерта-людини.

3. Розв'язання ЕС мають "прозорість", тобто можуть бути пояснені користувачеві на якісному рівні (на відміну від розв'язань, одержаних за допомогою числових алгоритмів). Ця якість ЕС забезпечується їхньою здатністю міркувати про свої знання і "висновки".

4. ЕС здатні поповнювати свої знання в ході діалогу з експертом.

5. Коло завдань, для розв'язання яких використовуються ЕС, в даний час досить обмежений. Тому розробка достатньо розвиненої ЕС в області проектування КСУ є актуальною.

Формально ЕС можна визначити таким чином :

$$EC=(F,P,I), \quad (3.14)$$

де F - робоча пам'ять системи (яка називається також базою даних), що містить поточні дані (елементи робочої пам'яті), P - база знань, що містить безліч правил вигляду "умова-дія", I - інтерпретатор (розв'язувач), що реалізовує процедури висновку. Інтерпретатор (розв'язувач) виконує такі дії:

1. визначає множину зазначених правил (означень), тобто множину правил, які задовольняються на деякому наборі поточних даних; 2. виконує визначені означення, виконуючи зміни в робочій пам'яті.

Інтерпретатор може бути представлений четвіркою:

$$I=(V,S,R,W), \quad (3.15)$$

де V - процес вибору, який здійснює вибір з P і з F підмножини активних правил P_v і підмножини активних даних F_v відповідно, які будуть використані в черговому циклі роботи інтерпретатора. S - процес співвідношення, який визначає множину означень, тобто множину пар: правило (p_i) - дані (d_i) , де $p_i \in P_v$, $\{d_i\} \in F_v$, причому кожне правило p_i може застосовуватись до елементів множини d_i - p_i задовольняється на елементах множини d_i ". Операція зіставлення може вимагати багато часу, оскільки в загальному випадку спричиняє означення багатьох змінних. R - процес дозволу конфліктів (або процес планування), який визначає, яке з означень буде виконуватись. Механізм дозволу конфліктів може бути неявним або явним. Мета правила дозволяє забезпечити прямим і зрозумілим способом застосування динамічних евристик для дозволу конфліктів. W - процес, що здійснює виконання обраного зазначеного правила (тобто виконання дій, вказаних в правій частині правила). Результатом виконання є модифікація даних в F або операція введення/виведення. Для зручності роботи з ЕС до неї пред'являються такі вимоги: 1) здатність вести діалог про розв'язуване завдання на мові, зручній для користувача (експерта), і, зокрема, набувати в ході діалогу нових знань; 2) здатність при розв'язанні завдань слідувати лінії міркування, зрозумілої користувачеві (експертові); 3) здатність пояснювати хід свого міркування на мові, зручній для користувача (експерта), що є необхідним як при використовуванні, так і при вдосконаленні системи (тобто при відладці і модифікації бази знань). Перша вимога реалізується лінгвістичним процесором ЕС і компонентою придбання знань, а для виконання другої і третьої вимоги в ЕС вводиться пояснювальна компонента. Крім того, друга вимога накладає обмеження на спосіб розв'язання завдання - хід міркування в процесі розв'язання повинен бути зрозумілий користувачеві (експертові).

Ієрархічна (багаторівнева) ЕС (ІЕС) складається з 7 ієрархічно об'єднаних (відповідно до ієрархії знань і даних, використовуваних при

проектуванні КСУ) "традиційних" ЕС, кожна з яких має такі компоненти (рис. 3.11) (Додаток):

1. ієрархічну базу знань, що зберігає безліч взаємозв'язаних правил, згрупованих за ієрархією ухвалених рішень, що забезпечують допустимий (коректний) вибір сумісного по інформаційному і механічному інтерфейсах ТЕ в рамках ГВМ і КСУ відповідно до заданих вимог;

2. базу даних, що описує реальні типорозміри, моделі ТЕ, різального інструменту, пристосувань, заготовок, які можна використовувати при проектуванні КСУ (реконструювати існуючу КСУ);

3. інтерпретатор, який розв'язує на основі знань і даних, що є в системі, пред'явлене йому завдання способом кластеризації - системою "грубого" визначення ТЕ;

4. діалогову програму взаємодії з користувачем (експертом) природною для нього мовою (природна мова, професійна мова, мова графіки, ін.);

5. компоненту придбання знань;

6. пояснювальну компоненту, що дає пояснення дій системи і відповідає на питання про те, чому деякі висновки були зроблені або знехтувані.

У режимі розв'язання - дані про завдання користувача після обробки їх лінгвістичним процесором поступають в робочу пам'ять. Лінгвістичний процесор виконує такі дії:

1. перетворює вхідні дані, представлені на обмеженій мові системи кластеризації ТЕ, в уявлення на внутрішній мові системи;

2. перетворює повідомлення системи, виражені на внутрішній мові, в повідомлення на природній мові користувача-проектувальника.

Інтерпретатор на основі вхідних даних, правил і загальних фактів формує розв'язання завдання. Якщо відповідь системи не зрозуміла користувачу, то він може зажадати, щоб система пояснила, як ця відповідь була одержана. Звичайно пояснювальний блок повідомляє таке: 1. як правила використовують інформацію користувача; 2. чому використовувалися(не

використовувалися) дані правила; 3. які були зроблені висновки. Всі пояснення даються на обмеженій природній мові.

Необхідність використовувати в експертних системах нетрадиційні методи управління викликана в першу чергу неформалізованістю розв'язуваних ними завдань. Особливості неформалізованих завдань з погляду організації управління призводять до того, що процес розв'язання таких завдань не вдається представити у вигляді детермінованої послідовності програмних модулів. Тут одночасно до використання придатні кілька модулів (або один модуль, але над різними даними), причому не існує надійної інформації, що дозволяє віддати перевагу одному модулю над іншим. Задача інтерпретатора полягає в тому, щоб забезпечити функціонування системи в подібних умовах.

У загальному випадку робота інтерпретатора в кожному циклі полягає в послідовному виконанні чотирьох етапів: виборку, зіставлення, розв'язання конфліктів, виконання (дії). Іноді цикл роботи інтерпретатора ділять на два етапи: розпізнавання і дія. У цьому випадку до етапу розпізнавання включають вибір, зіставлення і розв'язання конфліктів. При цьому говорять, що завдання "розпізнавання" полягає у вирішенні конфлікту.

Розглянемо призначення і основні функції етапів.

Етап вибору. Здійснюється визначення підмножини правил з бази знань відповідно до набору даних, переданих системою кластеризації ТП в базу даних, які можуть бути використані в поточному циклі. Підставою для вибору знань в даному випадку є синтаксичні знання, вбудовані в систему.

Етап зіставлення. Визначається, які активні модулі (певна множина правил) і на яких активних даних готові до роботи. Модуль готовий до роботи, якщо серед активних даних є дані, що відповідають умовам цього модуля, вказаним в зразку. Такі модулі називаються "позначеним". Результатом роботи етапу зіставлення є набір зазначених модулів. Набір означених модулів часто називають конфліктним набором, підкреслюючи

цим той факт, що до роботи готові всі модулі набору, але інтерпретатор не знає ще, якому з них віддати перевагу.

Етап вирішення конфліктів. На цьому етапі інтерпретатор вибирає з конфліктного набору те означення, яке виконуватиметься в поточному циклі. На даному етапі інтерпретатор оцінює зазначені модулі з точки зору їх корисності для досягнення мети.

Етап виконання. На етапі виконання здійснюється виконання модулів, вибраних етапом вирішення конфліктів. В ході цього етапу здійснюється модифікація бази даних, виконуються операції введення/виведення і змінюється пам'ять станів інтерпретатора.

Слід зазначити, що представлена структура відкрита в тому значенні, що розробка і додавання нових рівнів, узгоджених за складом і форматах інформації з базовою не представляє особливих труднощів для інженерів адміністраторів баз даних. Взаємодію з ЕС здійснюють різні типи користувачів: користувачі-фахівці, користувачі-неспеціалісти, користувачі-студенти. Кожен з перерахованих типів користувачів пред'являє свої специфічні вимоги до спілкування, але всіх їх об'єднує таке:

1. мовою спілкування є обмежена природна мова, а не формальна мова програмування;
2. процес взаємодії користувачів будь-якого типу з ЕС не зводиться до обміну ізольованими парами пропозицій ("запит-відповідь"), а є розгалуженим діалогом, в якому ініціатива переходить від одного учасника до іншого. Складність і відокремленість завдань, вирішуваних в процесі спілкування користувачів з ЕС, призводить до необхідності виділення в структурі ЕС компоненти взаємодії.

Призначення компоненти взаємодії полягає в такому:

1. організувати діалог "користувач - ЕС", тобто розподілити функції учасників спілкування в ході спільного розв'язання завдання, і відстежувати стан діалогу як функцію поточних цілей учасників і фази розв'язання завдання;

2. здійснити обробку окремого повідомлення з урахуванням поточного стану діалогу, тобто здійснити перетворення повідомлення з природно-мовної форми у форму внутрішнього уявлення або зворотнє перетворення.

Завдання підсистеми **АНАЛІЗУ І СИНТЕЗУ** полягає в обробці окремих повідомлень системи і користувача. Повідомлення системи можна розділити на основні типи:

1. запити до користувача про значення деяких атрибутів розв'язуваного завдання (ініціатор - система);
2. повідомлення користувачеві результатів розв'язання (ініціатор - система);
3. пояснення користувачеві дій або знань системи (ініціатор - користувач);
4. повтор, тобто генерація нових знань, введених в систему з метою показати, як ці знання зрозуміла система (ініціатор - користувач).

Повідомлення користувача, які аналізуються системою, можна розділити на такі типи:

1. відповідь користувача на запит про значення певного атрибуту (ініціатор - система);
2. оцінка користувачем результату розв'язку, запропонованого системою (ініціатор - система);
3. запит користувача на пояснення дій або знань системи (ініціатор - користувач);
4. факт, що містить нове знання, звичне нове правило (ініціатор - користувач).

Службове призначення встановлених експертних систем багаторівневої ЕС. Умовно всі ЕС, що входять до складу багаторівневої ЕС можна розділити на три групи:

1. ЕС уточнення вибору окремих елементів ТЕ і компонентів матеріального потоку для виготовлення конкретних деталей, які представляють номенклатури проектованої КСУ: різального інструменту і

технологічного оснащення, металорізальних верстатів, засобів локального транспортування матеріальних об'єктів в рамках модулів КСУ, локальних накопичувачів в рамках модулів КСУ, контрольно-вимірювальних засобів продукції і ТЕ з визначенням параметрів, що забезпечують інформаційну і механічну сумісність; визначаються управляючі набори команд для кожного елемента ТЕ;

2. ЕС, яка здійснює об'єднання матеріальних об'єктів і компонентів ТЕ в окремі модулі, забезпечуючи їх сумісність на інформаційному і механічному рівнях;

3. ЕС формування технічних завдань на окремі машини ТЕ модулів, якщо в базі даних ЕС відсутні потрібні конкретні типо-розміри устаткування, яке відповідає описаним технічним характеристикам.

Результатом роботи експертної системи ЕС6 є специфікації кількох можливих варіантів ТО, які реалізують декілька функціональних моделей КСУ для АШ, для яких було визначено якнайменший середній час обробки деталей. Основною цільовою функцією при проектуванні КСУ є мінімум приведених витрат. Крім того, дуже часто оптимізація виконується за іншою загальною цільовою функцією - максимуму продуктивності. Проте, на вибір структури КСУ впливає цілий ряд окремих цільових функцій. При цьому загальні та окремі цільові функції не є аддитивними, тобто досягнення екстремуму загальної цільової функції не означає, що досягнуті екстремуми кожної окремої цільової функції і навпаки. Проте, існують ситуації, коли якась цільова функція відповідає особливим вимогам - наприклад, мінімум займаної КСУ площі, чисельності персоналу і ін. Окремі цільові функції і приведені показники КСУ можуть виступати по якій-небудь цільовій функції.

Можливий перелік цільових функцій.

Загальні цільові функції:

- приведені витрати:

$$Z_{\Pi} = (C_{\tau} + E_{\Pi} K_o) \Rightarrow \min; \quad (3.16)$$

- собівартість обробки:

$$C_T = \left[\sum_{m=1}^{X_m} M_T + \sum_{1}^{X_3} 3_T + \sum_{1}^{X_A} A_T + \sum_{1}^{X_3} P_T \right] \Rightarrow \min; \quad (3.17)$$

- продуктивність обробки:

$$\Pi_p = \left[\sum_{m=1}^{X_i} \frac{t_{on}}{\sum_{i=1}^{I_m} t_{b_i} p_i} \right] K_t \Rightarrow \max. \quad (3.18)$$

Окремі цільові функції:

- Кількість обслуговуючого персоналу:

$$\sum_{n=1}^l L_h = \sum_{n=1}^l \text{ent} \left[\frac{\sum_{v=1}^V H_v}{T} + 0,99 \right] \Rightarrow \min; \quad (3.19)$$

- тривалість виробничого циклу:

$$\Pi_{\Pi} = \sum_{f=1}^{\Phi} t_{fi} \Rightarrow \min; \quad (3.20)$$

- Обсяг незавершеного виробництва:

$$H = \left[\sum_{i=1}^{I_c} \sum_{n=1}^l \frac{b_{iq}}{1-b_{iq}} + 3V \frac{b_{iq}}{(1-b_{iq})^2} + D_T \right] \frac{b_{оп} K_t}{8} B_i C_i \Rightarrow \min; \quad (3.21)$$

- займана виробнича площа:

$$\Pi_{\Pi} = \sum_{i=1}^Z \Pi_{\Pi_i} \Rightarrow \min; \quad (3.22)$$

- Металоемність виробів в об'ємі річної програми:

$$B = \sum_{i=1}^I \sum_{1}^{N_i} B_{zi} \Rightarrow \min \quad 1; \quad (3.23)$$

- Енергоемність обробки виробів:

$$E = \sum_{i=1}^I \sum_{1}^N E_{zi} \Rightarrow \min, \quad (3.24)$$

де: E_n - нормативний коефіцієнт ефективності капітальних вкладень; K_o - капітальні вкладення в устаткування; M_T - річні витрати на матеріали; X_m - кількість видів матеріалів; 3_T - річна заробітна платня робітників/операторів (основних і допоміжних); X_3 - кількість категорій заробітної платні операторів/робітників; A_T - річні амортизаційні відрахування на відновлення

основного і допоміжного устаткування, виробничих площ, на відновлення витрат на доставку, установку, монтаж і відладку устаткування; x_a - кількість статей амортизації; P_r - річні витрати на ремонт і технічне обслуговування; x_r - кількість статей витрат; M_i - кількість реалізованих технологічних маршрутів по виробках i -го найменування; m - номер реалізованого технологічного маршруту; $t_{оп}$ - період оперативного планування, годинник; p_i^0 - вірогідність появи виробів i -го найменування в m -му маршруті; K_t - кратність періодів перспективного і оперативного планування ($K_t > 1$); l - кількість категорій обслуговуючого персоналу; p - номер категорії; N_v - час зайнятості обслуговуючого персоналу в зміну по даній функції; v, V - номер і число функцій, виконуваних обслуговуючим персоналом даної категорії, відповідно; T - ефективний змінний фонд часу; t_{fi} - тривалість f -го несуміщеного етапу виробничого циклу обробки виробу i -го найменування; Φ - число несуміщених етапів виробничого циклу обробки виробу i -го найменування; I_c - середня кількість найменувань виробів, оброблюваних в зміну; i - номер найменування виробу; q - кількість найменувань верстатів; b_{iq} - навантаження на верстат q -го найменування при обробці виробу i -го найменування (відношення інтенсивності вхідного і вихідного потоків заявок при експоненціальному розподілі тривалості обслуговування); B_i - середня кількість виробів i -го найменування в тарі (на палеті); C_i - середня вартість обробки напівфабрикату i -го найменування; $Пл$ - площа, займана z -ою одиницею основного або допоміжного устаткування; z - загальна кількість одиниць основного і допоміжного устаткування; N_i - річний обсяг випуску виробу i -го найменування, шт/рік; B_{zi} - маса заготовки виробу i -го найменування, кг; E_{zi} - кількість енергії, що витрачається на повну обробку виробу i -го найменування, Дж; I_m - кількість найменувань виробів, оброблюваних по m -му маршруту; D_T - середня кількість тари (палет) з готовими виробами в зміну, шт. На підставі наведених загальних і приватних цільових функцій можна вивести узагальнену функцію оптимізаційного вибору одного з альтернативних варіантів структури КСУ, який має вигляд:

$$F_{об} = \left\{ \sum_{d=1}^D \sum_{a=1}^X \sum_{k=1}^K [W_{k_i} (F_{k_i})_{da} s_{da}^* X_{da}] \right\} \Rightarrow \min, \quad (3.25)$$

де d , D - відповідно поточна і загальна кількість встановлених заново деталей на верстаті при виконанні обробки; a , X - поточна і загальна кількість верстатів; K - кількість критеріїв оптимізації; W_k - ваговий коефіцієнт k -го критерію оптимізації ($\sum_{k=1}^K W_k = 1$); $(F_{k_i})_{da}$ - значення k -го критерію оптимізації; X_{da} - кількість верстатів в КСУ; s_{da}^* - предикат, який визначається таким чином:

$$s_{da}^* = \begin{cases} 1, & \text{якщо деталь виготовлена на верстаті, що розглядається} \\ 0, & \text{інакше} \end{cases}$$

Узагальнена цільова функція формується проектувальником залежно від виробничої ситуації і конкретних вимог, що пред'являються до проекту КСУ.

Системи розробки альтернативної типової операційної технології включають попереднє матричне "грубе" визначення типів верстатів, підсистеми функціонального моделювання взаємодії матеріального, інформаційного потоків і ТЕ, підсистеми кластеризації об'єктів і ТЕ КСУ з метою групування і точнішого визначення можливого складу комплексу КСУ, ієрархічної експертної системи, що забезпечує кінцеве формування ТЕ КСУ з опрацюванням інформаційних і механічних інтерфейсів. Макет описаної системи реалізований на ПЕВМ ІОМ АТ в операційній системі MS-DOS на мові Паскаль. У системі діють 3 паралельні процеси: матричного визначення типів ТО, кластеризації об'єктів, ієрархічна ЕС.

Економічний ефект від застосування даної системи полягає в підвищенні якості, збільшення кількості даних і розрахованих альтернативних проектних рішень, а також скороченні часу проектування витрат, пов'язаних з пошуком оптимальних шляхів забезпечення вимог якості виготовлення продукції з урахуванням експлуатаційних умов. Саме цими показниками системи комплексного проектування КСУ вигідно відрізняється від інших підходів до проектування КСУ. Комплексна (інтегрована) система

проектування КСУ можлива тільки при базуванні на системному підході, який припускає паралельне розв'язання проектних завдань різними підсистемами загальної системи, при можливості паралельної роботи групи користувачів. При проектуванні складних верстатних систем часто виникає необхідність розв'язання завдань, що важко формалізуються, або завдань, що не мають алгоритмічного розв'язання. Автоматизувати їх розв'язання можливо тільки при розробці експертних систем, які при розв'язанні завдань, важких для експерта-людини, на основі використання звичайних процедур автоматизованого моделювання і проектування з використанням евристичних знань, одержують результати, які не поступаються за якістю і ефективністю розв'язання, яке одержує експерт (розробник), при одночасному зниженні витрат.

Розглянута ієрархічна експертна система проектування ТО і СУ КСУ здійснює вибір різних елементів ТО КСУ (із сформованих "кластерних ланцюжків") при забезпеченні їх механічних і інформаційних інтерфейсів, що є однією з головних умов надійної роботи системи. Розробляючи альтернативні специфікації сумісного по інформаційному і механічному інтерфейсах комплексу ТО КСУ і його СУ для реалізації техпроцесів, ЕС дозволяє подальший вибір одного комплексу відповідно до заданих вимог на підставі вказаних цільових функцій. Програмне забезпечення ЕС інваріантне до типів проєктованих КСУ і відображає специфіку і логіку завдань технологічного проектування на різних етапах створення проєкту КСУ.

ЧАСТИНА II

РОЗДІЛ IV

ДОСЛІДЖЕННЯ ПІДСИСТЕМ ТЕХНОЛОГІЧНОГО КОМПЛЕКСУ

4.1 Технологічний комплекс для віброударного пресування

Під технологічним комплексом розуміємо складну систему, яка характеризується структурними та функціональними зв'язками між складовими простіших систем та всередині них.

Система складається з елементів (складових частин, що розрізняються властивостями, які виявляються при взаємодії), з'єднаних зв'язками (лініями передачі одиниць або потоків чого-небудь), які вступають у певні відносини (умови і способи реалізації властивостей елементів) між собою та із зовнішнім середовищем, щоб здійснити процес (послідовність дій для зміни або підтримки стану) і виконати функцію системи (призначення, роль).

В досліджуваному технологічному комплексі для віброударного пресування ми можемо виділити три основні взаємопов'язані системи: об'єкт обробки (система I), робочий процес (система II) і машина (система III), які об'єднуються в загальну систему технологічного комплексу [147] (рис. 4.1).

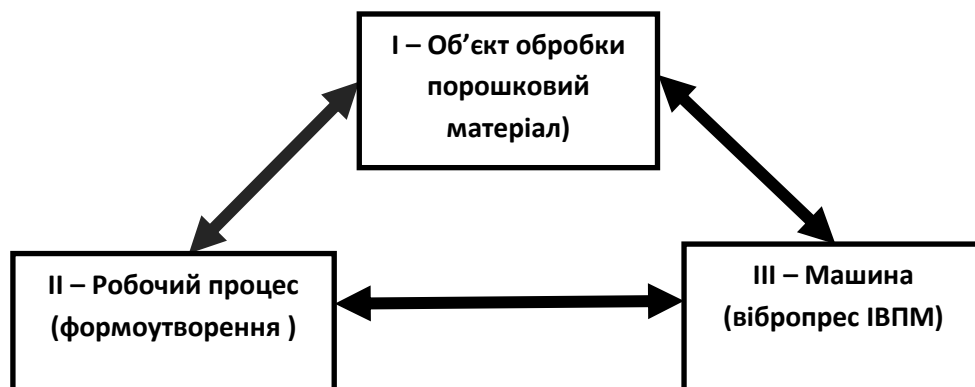


Рисунок 4.1 – Схема технологічного комплексу віброударного пресування

У випадку з ІВПМ об'єктом обробки є порошковий матеріал, який проявляє властивості метасистеми. Для останньої визначення проміжних станів в часі є складною і не завжди здійсненою задачею, у зв'язку з чим систему І необхідно подати у вигляді двох підсистем І.1 та І.2, що характеризують, відповідно, початковий (навішування порошкового матеріалу) та кінцевий (заготовка виробу) стани об'єкта обробки (рис. 4.2).

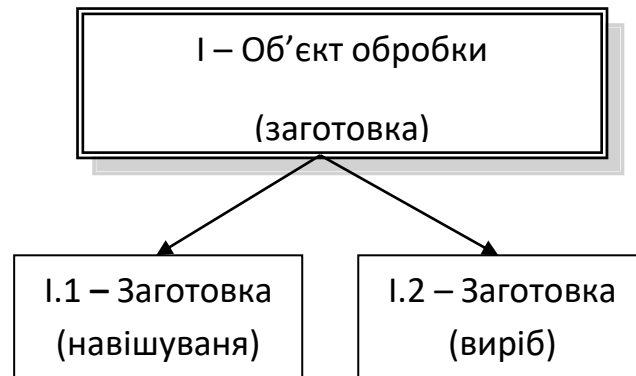


Рисунок 4.2 – Структурна схема системи І – заготовка

Система ІІ функціонально залежить від системи І і являє собою технологічний процес пресування. Даний процес описується двома підсистемами ІІ.1 та ІІ.2, що встановлюють спосіб ВУП та прийнятий основний режим його реалізації (рис. 4.3).

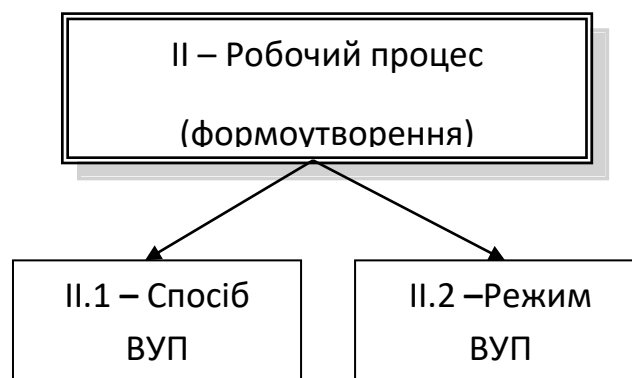


Рисунок 4.3 – Структурна схема системи ІІ – робочий процес (формування)

Вибір системи ІІІ визначають системи І та ІІ. Системою ІІІ є ІВПМ, який ділиться на підсистеми гідроімпульсного приводу (ІІІ.1), рухомих ланок (ІІІ.2), віброзбуджувача (ІІІ.3) і прес-форми (ІІІ.4). Згідно з системним підходом кожна з виділених підсистем може бути поділена на ланки. Оскільки при створенні власне ІВПМ задачі проектування ГІП та його віброзбуджувача розв'язуються лише у загальному вигляді, а прес-форма складається з двох основних деталей – матриці і пунсона, на блок-схемі достатньо вказати лише підсистему ІІІ.2, яка містить станину з фундаментом (ланка ІІІ.2.1), вібростіл (основна робоча ланка ІІІ.2.2) і допоміжну робочу ланку ІІІ.2.3. При цьому кожна з вказаних ланок за необхідності розділяється на деталі (рис. 4.4) [147].

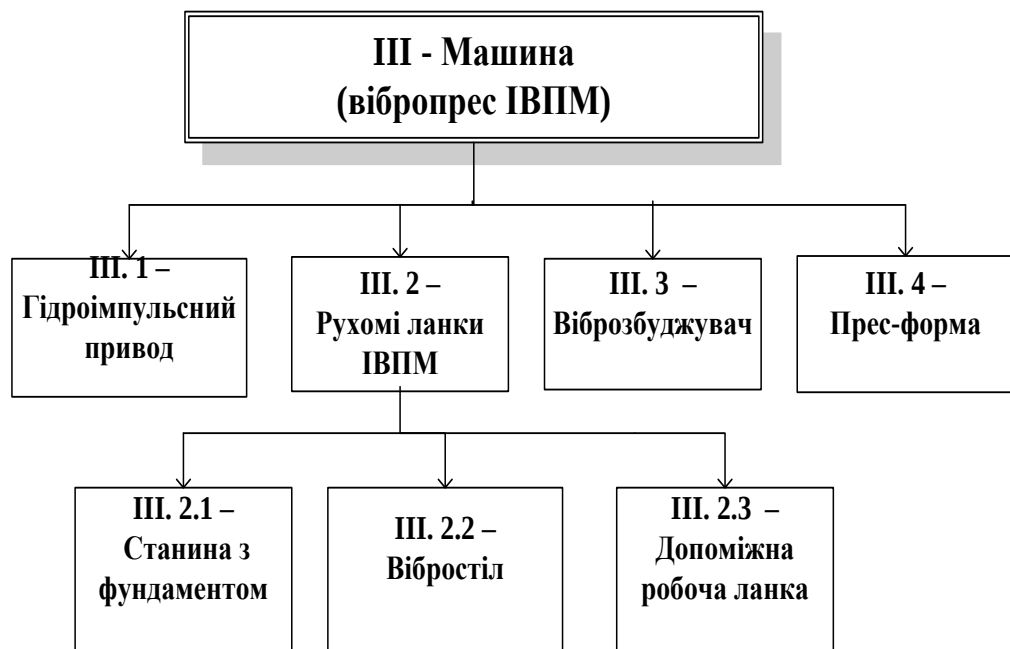


Рисунок 4.4 – Структурна схема системи ІІІ – машина (вібропрес ІВПМ)

Для завершення поданого у вигляді блок-схеми системного опису ІВПМ необхідно виявити в ньому структурні та функціональні зв'язки. На основі перших можна визначити належність та ієрархічну підпорядкованість складових елементів машини, а на основі других – установити логічну послідовність взаємодій в його системах, з виділенням джерел вхідної та вихідної інформації. При аналізі ІВПМ джерелом вхідної інформації служать відомості про оброблюваний об'єкт, які містяться в підсистемі І.1 та передаються в систему ІІ у вигляді логічної функції вибору режиму ВУП. Режим, у свою чергу, визначає робочий процес, з урахуванням параметрів якого проводиться вибір машини конкретного типу (система ІІІ).

Логічні функції вибору розробляються на основі результатів теоретичних досліджень, методів розрахунку параметрів режимів інерційного навантаження під час ВУП, нових конструкцій ІВПМ, їхніх структурних схем та динамічних моделей, досліджень перехідних процесів взаємодії рухомих ланок ІВПМ, експериментальних даних, особливостей зміни фізико-механічних властивостей заготовок з порошкових матеріалів при дискретному навантаженні, аналізу основних робочих режимів ІВПМ, досліджень якісних параметрів заготовок. Логічні функції можуть бути подані у формі аналітичних залежностей, таблиць і тому подібних банків інформації з ключем для їх розшифровування. Функціональний зв'язок між машиною та об'єктом у вигляді функції силового впливу визначається для заданого проміжку часу, що дозволяє отримати вихідну інформацію, яка так само, як і вхідна пов'язана з об'єктом обробки, але міститься в підсистемі І.2, що відповідає заготовці виробу. Функціональний зв'язок між підсистемою ІІІ.3 та ланкою ІІІ.2.2 має вигляд функції генерування тиску в порожнині робочого циліндра, що періодично змінюється в часі.

Використовуючи системний підхід при подальшому аналізі проектного вібропресового обладнання, можна виділити і внутрісистемні функціональні зв'язки.

Функціональні зв'язки складових систем I та II вібропресового обладнання в аналітичній формі, розглянуті, головним чином, на рівні внутрішніх системних зв'язків між параметрами заготовки та ІВПМ. Сукупність міжсистемних функціональних зв'язків досліджуваного обладнання в аналітичній формі з врахуванням параметрів всіх складових систем являє собою математичну модель робочого процесу ВУП, на основі якої можливий розв'язок задач його оптимізації [147].

4.2 Дослідження фізико-механічних властивостей заготовок

При виготовленні форм серед динамічних методів ущільнення для складних виливків особливий інтерес становлять методи вібраційного і віброударного навантаження. Розрізняють вібропресування, при якому опока із сумішшю робить гармонічні або полі гармонічні коливання, і розрізняють віброударне пресування, коли вібрація супроводжується ударними навантаженнями.

Багато робіт присвячено вивченню механізму ущільнення і поведіння формувальних сумішей при дії вібродинамічних навантажень [90, 96, 112]. Ці дослідження показали підвищення середньої щільності суміші при впливі вібрації. Це є зниженням внутрішнього тертя і сил зчеплення між частинками, що зменшує ефективну в'язкість суміші [84].

Проведений ряд досліджень з ущільнення частинок порошкового матеріалу в контейнері прес-форми закритого типу при пресуванні за схемою інерційного навантаження [142], спрямованих, в першу чергу, на вивчення характеру зміни фізико-механічних властивостей заготовок при їх дискретному навантаженні. Були проведені дослідження [155, 175, 180], що дозволили зробити ряд узагальнень, які характеризують фізико-механічні властивості заготовок і визначають тенденції створення і розвитку нового спеціального устаткування [142].

На графіку $F_z - \Delta h$ (рис. 4.5) розглянуто стадії деформації заготовки, де умовно виділили три основні ділянки (I ділянка – OA, II – AB і III – BC), розміри яких визначаються параметрами і складом пресованого порошкового матеріалу, а також характером взаємодії частинок його структурної основи [142]. На першій ділянці графіка $F_z - \Delta h$ (ділянка кривої OA) навантаження заготовок від 0 до $F_{за}$ в прес-формі характеризується зближенням твердих частинок основи, заповненням вільного простору в об'ємі прес-форми пластифікатором, витисненням повітря в зазори між матрицею і пуансоном.

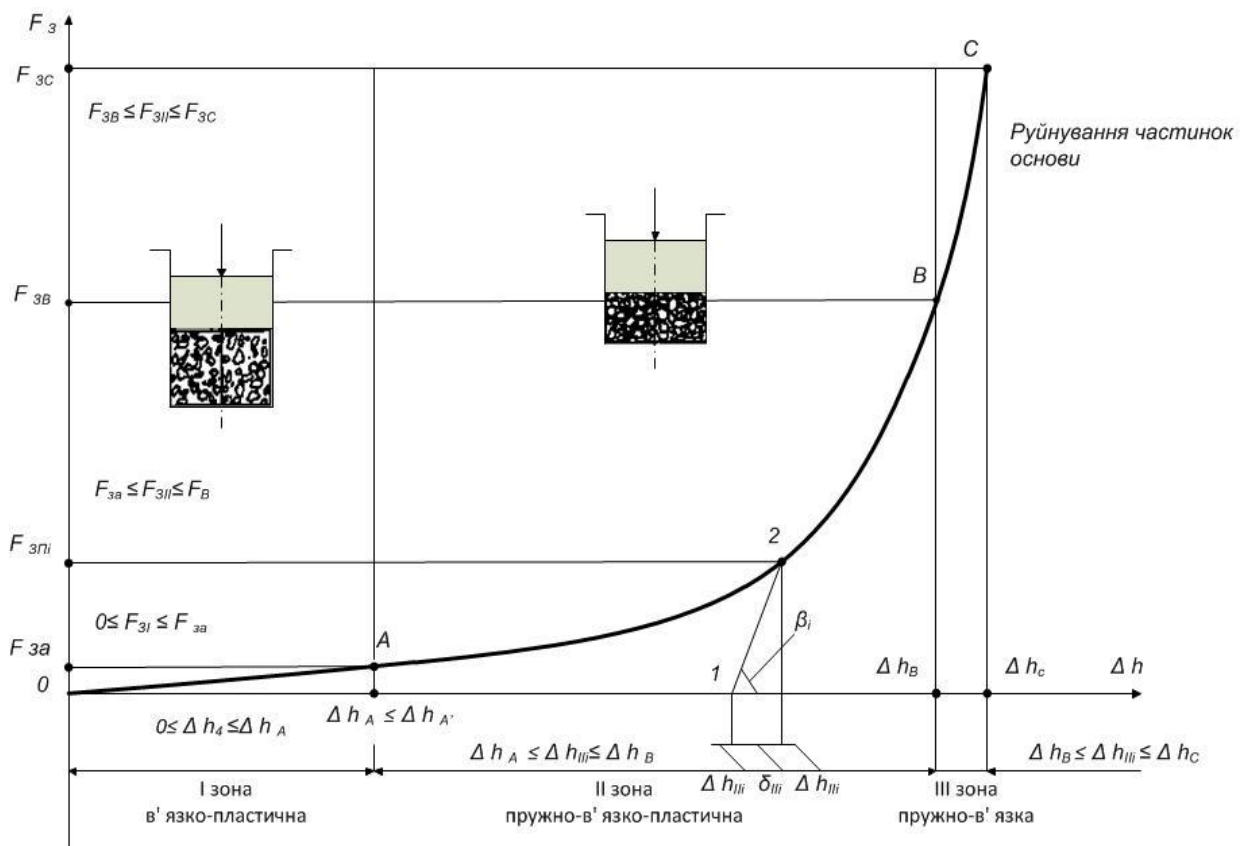


Рисунок 4.5 – Схематизований силовий графік $F_z - \Delta h$ звичайного пресування заготовок з порошкових матеріалів

До виникнення контакту між твердими частинками процес деформування заготовки в замкненому об'ємі прес-форми основи супроводжується збільшенням поточного значення густини порошкового

матеріалу заготовки і відбувається в умовах в'язко-пластичної течії. При цьому незначні зусилля $0 \leq F_{3Ii} \leq F_{3a}$ викликають відносно великі абсолютні деформації $\square h_{Ii} \leq \square h_A$, величина яких визначається гранулометриєю частинок основи порошкового матеріалу, процентним вмістом пластифікатора та в'язучих домішок. Межею ділянки I слід вважати абсолютну деформацію заготовки $\square h_A$, яка досягається в початковий момент утворення вихідного «скелета» основи у вигляді складних просторових структур «арок», «містків», «ланцюжків» [90, 150, 180] при виникненні контактів між її твердими частинками. Відсутність пружних складових внутрішніх напруг в структурі заготовки під час її пресування дозволяє вважати дані абсолютні деформації необоротними, тобто, незалежно від величини зусилля F_{3Ii} ($0 \leq F_{3Ii} \leq F_{3a}$), досягнута в процесі навантаження абсолютна деформація $\square h_{Ii}$ ($0 \leq \square h_{Ii} \leq \square h_A$) залишається незмінною і після розвантаження від F_{Ii} до 0. Така поведінка пресованого матеріалу подібна пластичній деформації і в заготовці не спостерігається пружна післядія – зменшення величини досягнутої абсолютної деформації $\square h_{Ii}$ при знятті зовнішнього навантаження F_{3Ii} [75].

Ділянка II є найхарактернішою для графіка $F_3 - \square h$, що відповідає кривій АВ. Межі цієї ділянки визначаються зміною зусилля навантаження заготовки F_{3IIi} від F_{3a} до F_{3b} ($F_{3a} < F_{3IIi} \leq F_{3b}$) і абсолютної деформації $\square h_{IIi}$ від $\square h_A$ до $\square h_B$ ($\square h_A < \square h_{IIi} \leq \square h_B$). Процес деформування пресованого порошкового матеріалу заготовки на ділянці кривої АВ відбувається в замкненому об'ємі прес-форми за наявності пружних і крихких контактів між частинками «скелета» основи, що виникають в результаті утворення складних просторових структур.

Зростання числа описаних складних просторових структурних утворень на початковій стадії навантаження заготовки зусиллям F_{3IIi} відбувається за рахунок зближення частинок основи порошкового матеріалу (без істотного руйнування їх контактів), що супроводжується збільшенням абсолютної деформації заготовки $\square h_{IIi}$, взаємним проникненням та зсувом не заклиненних твердих частинок основи у вільні зони і простори, заповнені

пластифікатором або зв'язкою. Зі зростанням зусилля F_{III} відбувається руйнування старих і зародження нових складніших структурних утворень з великим числом контактів між частинками. Описаний ділянкою кривої АВ процес деформування заготовки, супроводжується також локальним руйнуванням крупніших частинок основи. Величина досягнутої абсолютної деформації заготовки Δh_{III} на ділянці II в процесі навантаження не зберігає свого значення після зниження зусилля, що діє від $F_{зIII}$ до 0. Остаточне значення абсолютної деформації заготовки після розвантаження Δh_{III}^1 менше досягнутого в процесі навантаження до зусилля $F_{зIII}$ на величину пружної післядії

$$\delta_{III} = \Delta h_{III} - \Delta h'_{III}. \quad (4.1)$$

Про пружно-в'язко-пластичні властивості заготовки свідчить наявність пружних складових деформації, що проявляються на даному етапі пресування, а закономірність їх прояву можна обґрунтувати еволюцією структурних змін в заготовці. Наприклад, різкому збільшенню пружної післядії зі зростанням зусиль навантаження повинно відповідати інтенсивне зародження нових складніших структурних утворень з великою кількістю пружних контактів між частинками основи в матеріалі заготовки.

Наявністю сталих пружних контактів між частинками основи визначається лінійна ділянка III кривої навантаження $F_z - \Delta h$ (відрізок ВС). Дана ділянка свідчить про в'язко-пружні властивості заготовки і визначається величиною діючого зусилля $F_{зIII} = F_{зс}$, перевищення якого викликає крихке руйнування і перехід в більш дрібну дисперсну фазу непластичних частинок основи порошкового матеріалу, що мають певну межу міцності. Навантаження заготовки зусиллями $F_{зIII}$ ($F_{зв} < F_{зIII} < F_{зс}$) недоцільне, оскільки значення остаточної абсолютної деформації $\Delta h_{III}^1 = \Delta h_B^1$ на цій ділянці залишається практично незмінним при зростанні поточного значення абсолютної деформації $\Delta h_{III} \leq \Delta h_B \leq \Delta h_{III} \leq \Delta h_C$). Навантаження заготовки зусиллями більшими F_c дозволяє дещо збільшити її остаточну абсолютну

деформацію а, отже, і густину, але, внаслідок руйнування частинок основи після термообробки, істотно змінюються фізико-механічні властивості виробу, наприклад, пористість [89].

Згідно з графіком $F_s - \Delta h$, що визначає силовий режим роботи пресової машини, найефективнішим навантаження заготовки є на ділянках I та II (OA і AB). Причому, найбільша частина повної роботи пресування заготовки

$$A = \int_0^{\Delta h_B} F(\Delta h) d(\Delta h) = \int_0^{\Delta h_A} F(\Delta h) d(\Delta h) + \int_{\Delta h_A}^{\Delta h_B} F(\Delta h) d(\Delta h) \quad (4.2)$$

витрачається на ділянці II в разі збільшення поточного значення абсолютної деформації заготовки від Δh_A до Δh_B . Корисна робота пресування заготовки A_k з урахуванням пружної післядії, визначається за формулою

$$A_k = A - A_y = \int_0^{\Delta h_B} F(\Delta h) d(\Delta h) - \int_{\Delta h'_B}^{\Delta h_B} F(\Delta h) d(\Delta h) = \int_0^{\Delta h'_B} F(\Delta h) d(\Delta h), \quad (4.3)$$

де A_y – робота пружного стискання заготовки.

Для попереднього відтворення умов дискретного навантаження заготовок з непластичних порошкових матеріалів при віброударному режимі пресування з метою вивчення характеру зміни їх фізико-механічних властивостей було проведено звичайне пресування заготовок багаторазовим навантаженням з повним розвантаженням [147].

Основні особливості зміни фізико-механічних властивостей заготовок при дискретному багаторазовому навантаженні були також відзначені для основних інерційних режимів навантаження тих же заготовок під впливом періодичних імпульсів зовнішніх сил [141].

Найефективнішим режимом інерційного навантаження заготовок з непластичних порошкових матеріалів є режим ударно-вібраційний (УВ) який забезпечує досягнення однакових величин остаточних абсолютних деформацій при зусиллях значно менших (в 2,5...10 раз), ніж відповідні даним деформаціям зусилля звичайного пресування. Особливість даного

режиму УВ полягає в тому, що зростання деформації заготовки на остаточній стадії пресування відбувається при практично постійній величині імпульсних навантажень, що прикладаються до неї.

Відзначена для циклів зі сталим режимом навантаження закономірність збереження заготовкою при одноразовому силовому впливі однакових пружних властивостей дозволяє, в загальному випадку, значно спростити динамічний аналіз рухомих ланок машини, що забезпечують інерційне навантаження заготовок при віброударному пресуванні. При цьому механічні властивості відпресованої заготовки будуть однозначно визначатись відповідним коефіцієнтом умовної жорсткості c_3 , використовуючи який можна завжди подати зусилля на заготовці у вигляді лінійної залежності

$$F_{zi \max} = c_3 (x_1 - x_2) = c_3 \cdot \Delta x \quad (4.4)$$

Для циклів з нестійким режимом навантаження в процесі пресування закономірність зміни механічних властивостей заготовки при зближенні робочої ланки і вантажу на величину Δx_i , може бути подана наближеною залежністю

$$F_{zi} \approx F_{z(i-1)} + K_{\alpha i} \cdot \Delta x_i, \quad (4.5)$$

де i – номер циклу навантаження; $F_{z(i-1)}$ – максимальне зусилля попереднього циклу навантаження; $K_{\alpha i} = \operatorname{tg} \alpha_i$ – коефіцієнт «пластичності» [40] заготовки при i -му циклі навантаження [147].

При розвантаженні заготовки від дії інерційного вантажу характер зміни зусилля може бути описаний лінеаризованою залежністю

$$F_{zi} = c_{\beta i} (\Delta x_i - \Delta_i), \quad (4.6)$$

де Δ_i , – величина залишкової пластичної деформації заготовки, забезпечуваної при i -му циклі навантаження; $c_{\beta i} = \operatorname{tg} \beta_i$ – умовний коефіцієнт механічної жорсткості заготовки при i -му циклі навантаження.

З позицій структурного аналізу самої заготовки слід розглянути можливість додаткового пластичного деформування заготовок, які при одноразовому навантаженні проявляють тільки пружні властивості, що складається з безлічі непластичних частинок основи. До цього висновку можна прийти, якщо звернути увагу на випадковий характер дискретного зростання пластичної деформації заготовки в сталому режимі навантаження. Саме структурний аналіз дозволить встановити взаємозв'язок між фізико-механічними властивостями заготовки з непластичних порошків та параметрами ударно-вібраційного режиму її навантаження, на основі якого можна обґрунтувати високу ефективність даного режиму і сформулювати основні положення теорії процесу віброударного пресування заготовок при інерційній схемі навантаження.

Об'єкт обробки (порошковий матеріал) входить до нашого технологічного комплексу, якого ми позначили системою I. Наша задача – охарактеризувати параметри цієї системи.

Система I із сукупності перерахованих параметрів заготовки показує, що ряд з них (з індексом «i») в процесі ВУП змінюється від значень, що характеризують початковий стан заготовки ($i = 0$) в підсистемі I.1, до значень, що характеризують її кінцевий стан ($i = k$) в підсистемі I.2.

З метою скорочення загального числа параметрів за умови збереження потрібної інформації про стан заготовки (система I), а також усунення другорядних параметрів були виконані такі додаткові заходи:

- введено параметр $\vec{R}_i = \frac{S_{0i}}{\Pi_i}$, що характеризує геометричну форму

заготовки за аналогією з параметром «гідравлічний радіус» [96], і визначено його як «геометричний фактор» (R_i , м) для заготовок простої конфігурації

$\vec{R}_i = h_{zi}$; – введено поняття відносної щільності $\bar{\rho} = \frac{\rho_{zk}}{\rho_{z0}}$, що дозволяє

охарактеризувати кінцевий стан заготовки у порівнянні із початковим і розглядати «геометричний фактор» R_0 тільки для початкового стану;

- виключено із сукупності параметрів системи І параметр K_{zi} , який разом із параметрами $\bar{R}_i$ (або h_{zi}) та $\square_{zi}$ визначає фактор часу ($\square_0$, с) – тривалість зовнішнього імпульсного силового впливу на заготовку, що є основним параметром робочого процесу (система ІІ), оскільки при об'єднанні параметрів систем ІВПМ один з них буде другорядним.

В результаті реалізацій наведених вище заходів число основних параметрів системи І скоротилося до ряду: $\vec{\rho}, m_{zag}, a, R_0, S_{zag}$. Для виділених основних параметрів системи І таким комплексним параметром може бути добуток $R_0 S_{zag}$ (або $h_{z0} S_{zag}$), що характеризує початковий об'єм заготовки. З урахуванням параметра $R_0 S_{zag}$ для заданої величини $\square_{z0}$ не важко визначити m_{zag} . У зв'язку з вищевикладеним, скорочену сукупність параметрів системи І запишемо у вигляді $pl \left\{ \vec{\rho}, a, R_0, S_{zag} \right\}$.

4.3 Основні робочі режими інерційного вібропрес-молота

Робочий режим ІВПМ в процесі ВУП можна охарактеризувати сукупністю механічних параметрів перехідних процесів, які виникають в робочій рідині ГП і при взаємодії рухомих ланок ІВПМ в результаті періодичного спрацювання віброзбуджувача [136].

Можливі співвідношення цих параметрів були встановлені на лабораторних вібропресах ІВПМ-1,5 [75, 119] та ІВПМ-5Л [125, 178]. Враховувались такі механічні параметри: переміщення робочого столу; переміщення рухомої поперечини; зусилля навантаження заготовки з боку інерційного вантажу; тиск в порожнині одноциклового гідроаккумулятора; тиск в порожнині привідного гідроциліндра.

Різний характер навантаження заготовки на ІВПМ-5Л забезпечувався збільшенням або зменшенням мас змінних інерційних вантажів,

використанням додаткового статичного притискання, зміною подачі насоса і тиску налаштування спрацьовування віброзбуджувача ГП. Дослідження робочих режимів ІВПМ проводилося для постійної умовної жорсткості заготовки, досягнутої після завершення процесу її формоутворення. Характер навантаження заготовки було описано у вигляді періодичного процесу з постійними амплітудними значеннями зусиль і спрощено задачу аналізу робочих режимів ІВПМ [147].

Відмітною ознакою для виділених робочих режимів є характер зміни зусилля навантаження заготовки, що визначається умовами взаємодії робочого столу з рухомою поперечиною. На ІВПМ реалізуються робочі режими, для яких навантаження заготовки відбувається практично двічі під дією одного імпульсу примусового тиску [147]. Перше навантаження відбувається одночасно з дією примусового імпульсу при спільному переміщенні робочого столу і рухомої поперечини до моменту відриву останньої від заготовки, а друге – при ударі рухомої поперечини об заготовку після завершення незалежного переміщення. Причому, між першим і другим навантаженнями заготовка знаходиться в розвантаженому стані. Між рухомою поперечиною і заготовкою можуть виникати згасаючі ударні взаємодії після другого навантаження, амплітудні значення яких залежать від маси рухомої поперечини з інерційним вантажем та кінцевої щільності заготовки, досягнутої в результаті її пресування. Зі збільшенням частоти проходження імпульсів тиску і маси змінних інерційних вантажів можна забезпечити навантаження заготовки на зустрічному ході робочого столу й інерційного вантажу. Даний робочий режим можливий за умови, що закінчення незалежного переміщення рухомої поперечини відбувається протягом часу переміщення вгору робочого столу, викликаного імпульсом тиску. Характер зміни зусилля на заготовці визначався тривалістю взаємодії з нею робочого столу і рухомої поперечини при їх спільному переміщенні після зіткнення. На іншому відрізку часу до моменту наступної взаємодії заготовка знаходиться у розвантаженому стані. Використання додаткового

статичного притискання істотно впливає на характер зміни зусилля навантаження заготовки [147]. У початковий момент заготовка навантажена зусиллям P_{cm} . в момент початку імпульсу тиску зусилля на заготовці збільшується до $F_{z,max} > P_{cm}$, а потім зменшується до $F_{z,min} < P_{cm}$ і знову набуває значення P_{cm} . Таке навантаження відповідає спільному (безвідривному) переміщенню рухомої поперечини і робочого столу, при якому можна нехтувати розвантаженим станом заготовки ($F_z = 0$).

Дослідження робочих режимів при підключенні до приводного гідроциліндра ІВПМ-5Л віброзбуджувача за схемою «на виході» проводилося за методикою запропонованою для ІВПМ із віброзбуджувачем «на вході» [147]. Перехідні процеси в робочій рідині ГП у зв'язку з відсутністю гідроаккумулятора в даній схемі підключення розглядалися за допомогою одного механічного параметра, який характеризує тиск у порожнині гідроциліндра.

Періодичність зміни тиску в порожнині гідроциліндра визначається тиском p_1 налаштування спрацьовування віброзбуджувача і тиском p_2 його закриття. Зі збільшенням тиску до p_0 , при якому долаються сили стаціонарного опору, починає переміщуватися робочий стіл. Його переміщення відбувається у результаті імпульсної зміни тиску в порожнині гідроциліндра – падіння тиску від p_1 до p_2 в результаті спрацьовування запірного елемента віброзбуджувача. Для малих робочих ходів столу можливе падіння тиску до $p = p_{cl}$, оскільки в цьому випадку за час t_p надлишок рідини, що визначає перепад $p_2 - p_{cl}$, встигає перетекти в зливний бак до закриття запірного елемента. При спільному переміщенні вгору столу з заготовкою та рухомої поперечини відбувається навантаження заготовки імпульсами сили. Після досягнення столом крайнього верхнього положення рухома поперечина продовжує незалежне переміщення. Даний відрізок часу характеризується розвантаженим станом заготовки за винятком моменту повернення столу у вихідне положення, який супроводжується ударним

імпульсом сили. Аналогічним ударним імпульсом супроводжується повернення у вихідне положення рухомої поперечини.

Практичний інтерес дає можливість створення на базі таких ІВПМ високочастотних вібраційних установок. Аналіз робочих режимів ІВПМ [147] із різними схемами підключення віброзбуджувача показав, що в процесі ВУП дані режими однозначно визначаються характером зміни зусилля навантаження заготовки і можуть бути показані за аналогією з режимами інерційного навантаження. Робочий режим ІВПМ, що забезпечує умови силового впливу на заготовку, близький до віброударного інерційного навантаження, є найрозповсюдженішим. Він дозволяє впливати на заготовку двома послідовно створюваними короткочасними імпульсами сил (в результаті її взаємодії з верхньою поперечиною) протягом одного періоду зміни зовнішньої примусової сили, причому в проміжках часу між дією даних імпульсів заготовка може знаходитись у розвантаженому стані. Для позначення описаного основного робочого режиму ІВПМ у процесі ВУП [140] була введена аббревіатура ВУП-I.

Режим ІВПМ, що забезпечує навантаження заготовки на зустрічному ході столу й рухомої поперечини ударним імпульсом сили з подальшою витримкою її в розвантаженому стані, відповідний умовам ударного режиму інерційного навантаження [147]. За аналогічною з попереднім режимом класифікацією даний робочий режим отримав позначення ВУП-II. Для нього характерним є навантаження заготовки через рівні проміжки часу, кратні періоду виникнення в порожнині гідроциліндра примусових імпульсів тиску рідини.

Робочий режим ІВПМ, що забезпечує одноразове навантаження заготовки короткочасним імпульсом сили при безвідривному від заготовки переміщенні рухомої поперечини, подібний вібраційному режиму інерційного навантаження. В цьому режимі, який отримав позначення ВУП-III, навантаження заготовки відбувається в момент виникнення в порожнині гідроциліндра примусового імпульсу тиску рідини і супроводжується повним

або частковим розвантаженням, але витримка заготовки в розвантаженому стані відсутня. Введення розглянутої класифікації основних робочих режимів ІВПМ обумовлено різною ефективністю формоутворення ідентичних заготовок при їхньому використанні (відмінами щільності, нерівнощільності і т. д.), відміченою при попередніх експериментальних дослідженнях способів ВУП на ІВПМ для постійних параметрів ГП і змінних параметрів інерційного навантаження. Наявність класифікації значно спрощує розв'язання задач оптимізації процесів ВУП, особливо на першому етапі їх розробки, оскільки дозволяє обмежити ділянку пошуку оптимальних розв'язків.

Режим віброударного пресування, в нашому дослідженні, є системою ІІ (робочий режим), який характеризує спосіб і режим силового впливу системи ІІІ на систему І. Виділимо основні параметри системи ІІ. Тому до даних параметрів системи ІІ, відносяться: тривалість ударного імпульсу τ_0 (с), зусилля додаткового статичного навантаження заготовки (P_{cm} , Н), максимальне зусилля навантаження заготовки ($F_{з.мах}$, Н) в процесі ВУП заготовки, загальне число ходів робочого столу ІВПМ (n) і частоту (f_p , Гц) їх здійснення. Причому параметри n та f_p можна об'єднати і описати одним параметром, що характеризує повний час робочого процесу ($t_{вуп} = n \cdot f_p^{-1}$, с). Сукупність основних параметрів системи ІІ можна подати у вигляді $\{F_{з.мах}, P_{cm}, f_p, t_{вуп}\}$ [147].

4.4 Дослідження інерційного вібропрес-молота з гідроімпульсним приводом

Дослідження інерційного вібропрес-молота створеного за результатами досліджень авторів [184], показало універсальність даного обладнання при здійсненні пресування заготовок складної конфігурації і великих габаритів з

карбід-кремнієвих порошкових матеріалів, його високу ефективність і виявило необхідність проведення подальших робіт із забезпечення широкого промислового впровадження ІВПМ. Усі конструкції ІВПМ мають загальну структуру, в якій доцільно виділити два виконавчих механізми, що забезпечують переміщення рухомої поперечини зі змінними масами інерційних вантажів та періодичні коливання робочого столу машини. Вказані механізми мають, відповідно, допоміжний та основний приводи (ДП, ОП) ІВПМ. В якості допоміжного використовується насосний безакумуляторний привід, подача якого постійна, а в якості основного – гідроімпульсний привід, що забезпечує зміну тиску в робочій порожнині гідроциліндра або гідродвигуна поворотної дії згідно із певною періодичною закономірністю, яка визначається тим, як підключений віброзбуджувач [147]. Виконавчі механізми ІВПМ розташовуються на верхній та нижній нерухомих поперечинах станини, остання з яких звичайно закріплена на блоці віброізолюваного фундаменту [140].

Вказані особливості структури ІВПМ дозволяють вважати, що його конструкція в загальному випадку містить станину з блоком фундаменту та змонтованими на ній корпусами гідродвигунів виконавчих механізмів; робочий стіл, жорстко закріплений на плунжері гідродвигуна основного приводу машини; рухому поперечину зі змінними масами інерційних вантажів, жорстко закріплену на штоці гідродвигуна допоміжного приводу.

Технологічне оснащення ІВПМ кріпиться на робочому столі (контейнер прес-форми) та рухомій поперечині (пуансон).

Процес ВУП на ІВПМ залежить від характеру динамічної взаємодії його рухомих ланок, в результаті якого заготовка піддається впливу робочого навантаження. Взаємодія починається під час ходу наближення рухомої поперечини до зіткнення з робочим столом, яка у вихідному положенні нерухома. В процесі даного переміщення рухома поперечина взаємодіє з станиною, а під час гальмування (з моменту зіткнення пуансона з заготовкою) – ще з робочим столом. Хід наближення рухомої поперечини

завершується попереднім деформуванням заготовки в контейнері прес-форми, закріпленому на робочому столі. Граничне значення зусилля попереднього деформування відповідає силі ваги рухомої поперечини, маса якої встановлюється в залежності від величини припустимого питомого зусилля [115] на поверхні заготовки з боку пуансона, закріпленого на рухомій поперечині.

Робочий хід та деформування заготовки починаються після відключення допоміжного приводу та вмикання основного, який створює в робочій порожнині гідродвигуна тиск, що періодично змінюється. Закон зміни даного тиску $p_{\text{г}}(t) = p_{\text{г}}(t + t_{\text{г}})$ визначається в залежності від варіанту підключення віброзбуджувача ГП.

Аналізуючи конструктивні схеми ІВПМ та взаємодії їхніх рухомих ланок з урахуванням особливостей використання основного і додаткового гідроприводів складено узагальнену структурну схему ІВПМ (рис. 4.6).

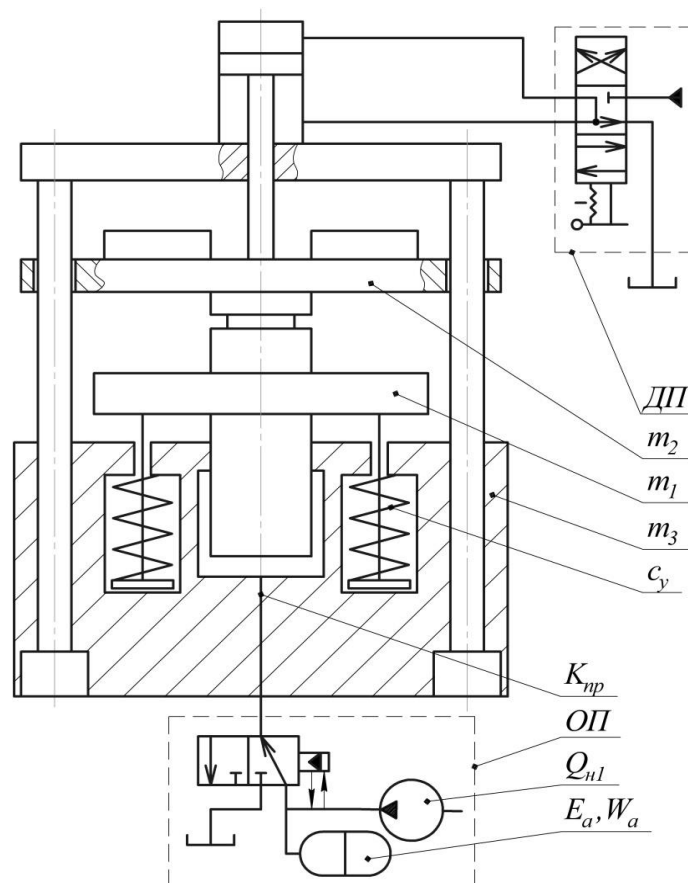


Рисунок 4.6 – Структурна схема ІВПМ: E_a – енергія одноциклового гідроаккумулятора; W_a – об’єм гідросистеми; K_{np} – коефіцієнт пружності; $Q_{н1}$ – подача робочої рідини від насоса; p_1, p_2 – тиск спрацювання вібробуджувача; m_1, m_2, m_3 – маса рухомих ланок; c_y – жорсткість пружних елементів. $ОП$ – основний привід, $ДП$ – допоміжний привід.

В допоміжному приводі робоча рідина від насоса в залежності від положення золотника розподільника, надходить в поршневу або в штокову порожнини гідродвигуна, а з порожнин, відповідно, штокової та поршневої – на злив через підпирний клапан, налагоджений на тиск p_n . Такому переміщенню робочої рідини в допоміжному приводі відповідає поступальне переміщення штока гідроциліндра із закріпленою на ньому рухомою поперечиною масою $m_{n.n}$ в напрямку до оброблюваної заготовки масою $m_{заг}$ (вниз) або від неї (вверх).

Золотник розподільника перемикається в середнє положення після завершення встановних переміщень рухомої поперечини в момент її підведення до заготовки. Здійснюється попереднє деформування заготовки за рахунок сил ваги рухомої поперечини $m_{n.n}$ із закріпленими на ній змінними масами інерційних вантажів $m_{i.n}$ і пуансоном m_n . При цьому робоча рідина від насоса перетікає на злив, і функції допоміжного приводу можна вважати виконаними. Після створення додаткового статичного притискання (досягнення в гідросистемі розрахункового тиску спрацювання запобіжного клапана p_N ($p_N > p_n$)) рухома поперечина зупиняється і надлишок робочої рідини, а також з поршневої порожнини гідроциліндра відводиться на злив через запобіжний клапан.

В ГПІ при ввімкненому розподільнику напрям подачі робочої рідини від насоса залежить від схеми підключення вібробуджувача. При підключенні вібробуджувача «на вході», робоча рідина від насоса $Q_{н1}$ подається в порожнину одноциклового гідроаккумулятора з початковим

об'ємом W_0 . При постійній подачі насоса Q_{n1} в результаті стисливості робочої рідини і пружного деформування стінок гідроліній та порожнини гідроаккумулятора відбувається накопичення потенціальної енергії, що супроводжується підвищенням тиску в середовищі робочої рідини до величини $p_{a.max}$, що відповідає тиску p_1 налаштування спрацьовування віброзбуджувача і з'єднання порожнини гідроаккумулятора через гідролінію з робочою порожниною гідроциліндра основного приводу. Робоча рідина з початковим тиском $p_{a.max}$ з порожнини гідроаккумулятора надходить в робочу порожнину гідроциліндра і передає накопичену потенціальну енергію рухомим ланкам ІВПМ для виконання робочого ходу при взаємодії з плунжером гідроциліндра, площа якого $S_{пл}$. Процес передачі енергії супроводжується змінами тиску в середовищі робочої рідини, яка знаходиться в порожнині гідроциліндра згідно із законом $p_{ц}(t)$, що визначається величиною енергії, швидкістю її передачі при спрацьовуванні віброзбуджувача, характером деформування стінок гідролінії робочої порожнини гідроциліндра, і пружин пружного повернення, а також зміною сил опору руху плунжера з боку заготовки.

Рух мас плунжера, стола, контейнера, прес-форми та заготовки відбувається спільно. Періодичність даного руху залежить від характеру спрацьовування віброзбуджувача.

В середовищі робочої рідини при падінні тиску, що знаходиться в порожнині гідроаккумулятора, до величини $p_{a.max} = p_2$, яка відповідає величині тиску закриття віброзбуджувача, доступ робочої рідини з порожнини гідроаккумулятора. Робоча рідина з робочої порожнини гідроциліндра перетікає на злив, плунжер з приєднаними конструктивними елементами повертається у вихідне положення під дією сил ваги і стиснених пружин пружного повернення, еквівалентна жорсткість яких c_y . Одночасно робоча рідина подається від насоса Q_{n1} в порожнину гідроаккумулятора W_0 , внаслідок чого збільшується запас накопиченої потенціальної енергії, який визначається величиною тиску p_a . При досягненні в підсистемі тиску

$p_a = p_{a.max} = p_1$ спрацьовує віброзбуджувач. Таким чином робоча рідина періодично надходить до порожнини гідроциліндра і створює в ній тиск.

Аналіз структурної схеми показує, що ІВПМ являє собою гідромеханічну систему, що складається з твердих елементів в поєднанні з рідинними елементами.

Вибір способу підключення віброзбуджувача в ГПП вібропресового обладнання визначається заданим режимом інерційного навантаження і вимогами, що висуваються до параметрів генерованих імпульсів тиску робочої рідини. Для генерування ударних (миттєвих) імпульсів тиску доцільно використати спосіб підключення віброзбуджувача «на вході», оскільки в цьому випадку тривалість імпульсів буде залежати, в першу чергу, від часу відкриття запірного елемента віброзбуджувача на величину умовного проходу, що забезпечує подачу робочої рідини Q_{Σ} в порожнину гідроциліндра з допустимими втратами тиску на дроселювання [75] при заданій величині тиску p_1 налаштування його спрацьовування.

Важливою перевагою способу підключення віброзбуджувача «на вході» слід також вважати можливість зміни енергії, що передається в порожнину гідроциліндра при незмінній тривалості генерованого імпульсу тиску, що дозволяє рекомендувати його для реалізації будь-якого режиму інерційного навантаження [147]. При підключенні віброзбуджувача «на виході» тривалість генерованих імпульсів тиску залежить від параметрів гідросистеми, що визначають час набирання тиску до заданого значення p_1 . Використання такої схеми підключення віброзбуджувача при необхідності генерування ударних імпульсів тиску із заданим амплітудним значенням p_1 вимагає значного збільшення потужності приводу, головним чином, за рахунок збільшення подачі насоса. .

ІВПМ, як зазначалось в 4.1., є системою технологічного комплексу – система III. На основі аналізу системи III виділили параметри, що характеризується параметрами ГПП E_a , W_a , K_{np} , Q_{n1} , віброзбуджувача та системи рухомих ланок m_1 , m_2 , m_3 , c_y , c_{ϕ} . Параметри прес-форми аналогічні

геометричним параметрам заготовки і враховуються в системі I (об'єкт обробки). Відомі аналітичні залежності [132], що установлюють зв'язок між вказаними параметрами системи III , дозволяють однозначно обрати серед них основні. Використовуючи даний підхід, розглянемо комплекс параметрів $\{E_a, W_a, p_1, K_{np}\}$.

В даному комплексі будь-які три параметри однозначно визначають четвертий, який можна виділити в число основних параметрів системи III . До основних параметрів системи III необхідно віднести маси m_1, m_2 та жорсткість пружин повернення c_y . При цьому вважаємо, що маса станини m_3 та жорсткість віброізоляторів c_δ достатньо великі і не впливають на хід робочого процесу [147].

Використовуючи відношення $m_2/m_1 = \alpha$ ($m_2 = \alpha m_1$), параметри конструкції ІВПМ при незмінній масі робочого столу доцільно записати як $m_1, \alpha \cdot m_1, c_y$. Для системи III скорочена сукупність основних параметрів можна записати $\{E_a, m_1, \alpha m_1, c_y\}$.

Конструктивне виконання моделі ІВПМ та опис її параметрів дає можливість вибору різних режимів інерційного навантаження під час відпрацювання технологічних процесів формоутворення заготовок з порошкових матеріалів способом ВУП, що дозволяє оцінити ефективність їхнього застосування.

4.5 Оцінка ефективності роботи технологічного комплексу

Розвиток системного підходу до проблеми підвищення ефективності процесів формоутворення заготовок з порошкових матеріалів на вібропресовому обладнанні при раціональному поєднанні фундаментальних рішень питань теорії надійності і прикладних завдань підвищення ресурсу машин і конструкцій є одним з актуальних і найважливіших завдань.

Саме системний підхід передбачає послідовний перехід від загального до часткового, коли в основі розгляду лежить мета. Побудова моделі технічної системи належить до числа системних задач, при розв'язуванні яких синтезують розв'язки на основі великої кількості початкових умов. Використання системного підходу в цих умовах дозволяє не тільки побудувати модель реальної системи, але й на базі цієї моделі вибрати необхідну кількість інформації для керування системою, оцінити показники її функціонування і тим самим на базі моделювання знайти найбільш ефективний варіант побудови та оптимальний режим функціонування реальної системи. Відповідно до системного підходу в процесах створення й дослідження складних технічних систем моделювання, якою є наша система, їхніх елементів і функціональних підсистем виконується в декілька етапів і на різних рівнях залежно від ступеня деталізації системи. Методика моделювання безпосередньо залежить від рівня моделювання. Кожному рівню моделювання відповідає певне поняття системи, елемента системи, законів функціонування елементів системи в цілому і дії зовнішніх навантажень. Залежно від ступеня деталізації опису складних технічних систем та їхніх елементів можна виділити три основних рівні моделювання:

1. Рівень структурного або імітаційного моделювання складних систем із використанням їхніх алгоритмічних моделей (моделюючих алгоритмів) і застосування спеціалізованих мов моделювання, теорій множин, алгоритмів, графів, масового обслуговування, статистичного моделювання;

2. Рівень логічного моделювання функціональних схем елементів і вузлів складних систем, моделі яких подаються у вигляді рівнянь безпосередніх зв'язків (логічних рівнянь) і будуються із застосуванням апарату двозначної або багатозначної алгебри логіки;

3. Рівень кількісного моделювання принципових схем елементів складних систем, моделі яких становлять системи лінійних та нелінійних алгебраїчних, диференціальних або інтегро-диференціальних рівнянь, що досліджуються із застосуванням методів лінійної і нелінійної алгебри,

методів функціонального аналізу, теорії ймовірності й математичної статистики. Сукупність моделей технічної системи на структурному, логічному і кількісному рівнях моделювання являє собою ієрархічну систему, яка розкриває взаємозв'язок різних сторін опису технічної системи й забезпечує системний взаємозв'язок елементів і властивостей на всіх стадіях її створення або дослідження.

Методи імітаційного, аналітичного, чисельного, натурного й напівнатурного моделювання застосовують при створенні і дослідженні складних технічних систем. Аналітичні методи це є перетворенні символічної інформації, яка записана мовою математичного аналізу. При використанні аналітичних методів будується математична модель системи, що описує її фізичні властивості за допомогою математичних співвідношень, наприклад, у вигляді диференціальних або інтегральних рівнянь. Моделі такого типу називають аналітичними. Така модель будується на основі понять, символіки і методів деякої теорії, яка визначає клас математичних аналогій, тобто основоположних математичних моделей. Чисельні методи базуються на побудові кінцевої послідовності дій над числами, яка приводить до отримання необхідних результатів. За наявності математичної моделі технічної системи застосування чисельних методів зводиться до заміни математичних операцій і співвідношень відповідними операціями над числами: заміна інтегралів сумами, похідних — відношеннями різниць, нескінченних сум — кінцевими. У результаті цього будується алгоритм, який дає можливість точно або з допустимою похибкою обчислити значення необхідних величин на ЕОМ.

Широке застосування знаходять моделі, які являють собою змістовий опис технічних систем і форм алгоритмів — це методи імітаційного моделювання. В описах відображається як структура системи, що досягається шляхом ототожнення елементів системи з відповідними елементами алгоритмів, так і процеси функціонування системи в часі, які подаються в логіко-математичній формі. При цьому описи системи мають алгоритмічний

характер, а самі моделі становлять програми для ЕОМ. Моделі такого типу називають імітаційними, або алгоритмічними. Особливість даного підходу до моделювання полягає в тому, що для побудови моделі використовуються алгоритмічні мови, які є більш гнучкими й доступними засобами опису складних систем, ніж мови математичних функціональних співвідношень.

Статистичним моделюванням називається процес побудови та аналізу імітаційних моделей із застосуванням методу статистичних випробувань. Статистичне моделювання є методом отримання за допомогою ЕОМ статистичних даних про процеси, які проходять в системі, що моделюється. Для отримання необхідних результатів статистичні дані опрацьовуються і класифікуються з використанням методів математичної статистики.

Метод оцінювання стану складних систем на основі нечітких множин полягає у формуванні множини початкових вхідних параметрів, з них формування множини оцінних параметрів. Далі відбувається формування складних узагальнених показників оцінювання ефективності всієї системи з множини можливих станів [120, 83].

З аналізу моделей та методів системного підходу для нашого технологічного комплексу (заготовка, робочий режим, машина) аналітичне оцінювання отриманих даних реалізували в статистичному середовищі STATISTICA 10.0.

Під час отримання результатів експериментальних досліджень виникає потреба у перевірці достовірності цих результатів, а також адекватності теоретичних висновків і залежностей.

Достовірність результатів експериментальних досліджень оцінюємо за вірогідною ймовірністю P_n (надійністю) або ймовірністю того, що дійсне значення ймовірності величини потрапляє у вірогідний інтервал.

$$m = \pm t_{\beta} \sigma_m \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2}{N-1}}, \quad (4.7)$$

де t_β – гарантійний коефіцієнт Ст'юдента для довірчої вірогідності;

σ_m – середньоквадратичне відхилення (дисперсія) вимірів:

$$\sigma_m = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2}{N-1}}, \quad (4.8)$$

де N – кількість вимірів; x_i – значення вимірюваної величини; $\bar{x}$ – середньоарифметичне значення вимірюваної величини:

$$\bar{x} = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^n x_i. \quad (4.9)$$

Щоб отримати вірогідне значення вимірюваних величин, необхідну кількість вимірів під час розподілу похибок, близького до нормального, визначаємо за формулою:

$$N \geq \frac{1 + P_n + 2n_{cm}}{1 - P_n}, \quad (4.10)$$

де n_{cm} – число вимірів із грубими похибками, які відкидали.

Відповідно до рекомендацій, вірогідна ймовірність вибрана в інтервалі (0,8...0,9), тоді при $n_{cm}=0$ маємо:

$$N \geq \frac{1 + (0.8...0.9)}{1 - (0.8...0.9)}. \quad (4.11)$$

У подальшому за N відомих вимірів визначається ймовірність P_n за умови, що похибка середнього значення не виходить за межі вірогідного інтервалу m . Для цього вираховуємо середньоарифметичне значення σ_o середньоквадратичного відхилення σ_m :

$$\sigma_o = \frac{\sigma_m}{N}, \quad (4.12)$$

Потім визначається коефіцієнт Ст'юдента:

$$\alpha_{cm} = \frac{\mu}{\sigma_o} . \quad (4.13)$$

Після чого, за відомими α_{cm} та N , визначаємо розрахункову вірогідну ймовірність P_{n1} . Якщо P_{n1} виявляється нижчою за необхідну, то визначаємо мінімальну кількість вимірів:

$$N_{\min} = \frac{k_B^2 t_\beta^2}{\Delta^2} , \quad (4.14)$$

де Δ – точність вимірів; k_B – коефіцієнт варіацій, що дорівнює:

$$k_B = \frac{\sigma_m}{\bar{X}} . \quad (4.15)$$

Перевірку адекватності теоретичних залежностей проводимо за допомогою відхилень, що вираховуються за теоретичними залежностями значень шуканого параметра y від експериментально встановлених та усереднених $\bar{y}$ за числом повторень дослідів m .

Оцінювання відхилень проводимо із використанням теорії Фішера, для чого розраховуємо екстремальне значення критерію Фішера f_e і порівнюємо з теоретичним f_m , яке приймається за необхідного рівня значущості. Якщо $f_e \leq f_m$, то теоретична залежність адекватна.

Значення критерію Фішера для експериментальних вимірів визначаємо за залежністю:

$$f_e = \frac{S_a}{S_b} , \quad (4.16)$$

де S_a – дисперсія адекватності.

$$S_a = \frac{m}{n-1} \sum_{i=1}^N (\bar{y} - y)^2 , \quad (4.17)$$

де S_b – дисперсія відтворюваності

$$S_b = \frac{l}{N(m-l)} \sum_{i=1}^N \sum_{u=1}^m (y_{iu} - y) . \quad (4.18)$$

де m – кількість паралельних дослідів; l – кількість значущих коефіцієнтів теоретичної залежності.

Теоретичне значення критерію Фішера приймаємо за таблицею при відповідних ступенях вільності f_1 і f_2 та рівні значущості q (зазвичай $q=0,05$), тоді:

$$f_1 = N - 1 , \quad (4.19)$$

$$f_2 = N(m-1) . \quad (4.20)$$

Якщо теоретичні розрахунки виявляться неадекватними, порівняно з даними експериментів, то необхідно переходити до більш складних, досліджуючи раніше прийняті під час складання теоретичних припущень.

Розрахунок довірчого інтервалу коефіцієнтів регресії здійснювався за формулами:

$$S(b) = T_i \bar{s}_y(\bar{y}) \quad (4.21)$$

$$\Delta b_{kr} = t \cdot S(b) \quad (4.22)$$

де $S(b)$ – помилка у визначенні відповідного коефіцієнта; T_i – розрахункові коефіцієнти для планів Бокса–Бенкіна.

Перевірка моделей на адекватність здійснювалась за критерієм Фішера:

$$F = \frac{s_{na}^2}{s_y^2} , \quad (4.23)$$

де s_{na}^2 – дисперсія неадекватності:

$$s_{na}^2 = \frac{\sum_{i=1}^{13} y_i^2 - \left[b \cdot \sum y_s x_i x_j \right]}{f_{na}} . \quad (4.24)$$

Перевірка однорідності дисперсій за допомогою критерію Кохрена G :

$$G = \frac{(s_i^2)_i}{\sum_{i=1}^N s_i^2} \quad (4.25)$$

Якщо $G < G_{\text{табл}}$ за заданою величиною помилки і числом ступенів свободи $f_1 = n-1$ і $f_2 = N$, гіпотеза про однорідність ряду дисперсій може бути прийнята. При однорідності дисперсій розраховується оцінка усередненої дисперсії відтворюваності:

$$s_y^2 = \frac{\sum_{i=1}^N \bar{s}_i^2}{N(n-1)} \quad (4.26)$$

Також під час обробки експериментальних даних використовуємо методи графічного зображення, які дають найбільш наочне уявлення про результати експерименту, дозволяють краще зрозуміти фізичну сутність досліджуваного процесу, виявити загальний характер функціональної залежності досліджуваних змінних величин, встановити наявність екстремумів функції. При цьому отримані точки на графіку з'єднуємо плавною лінією так, щоб вона, за змогою проходила щонайближче до всіх екстремальних точок, оскільки більшість функцій має плавний характер.

РОЗДІЛ 5

ПОБУДОВА МАТЕМАТИЧНИХ МОДЕЛЕЙ ТА МЕТОДІВ ОЦІНЮВАННЯ ЕФЕКТИВНОСТІ ФУНКЦІОНУВАННЯ ТЕХНОЛОГІЧНОГО КОМПЛЕКСУ

5.1 Оцінювання ефективності функціонування технологічного комплексу

Наш технологічний комплекс – складна система, яка складається із трьох підсистем. Система I – об’єкт обробки, система II – робочий процес, система III – машина. Кожну систему в розділі II ми описали і охарактеризували параметри, які найбільше впливають на їхню роботу. Для кожної з систем можна побудувати математичну модель та оцінити ефективність її функціонування.

Наявність певної функціональної надмірності в структурі більшості складних систем приводить до того, що поява відмов окремих елементів або значні зміни тих чи інших робочих параметрів можуть привести не до повного виходу системи з ладу, а лише до деякого погіршення якості функціонування і зниження ефективності системи в цілому. Для оцінювання якості функціонування всього технологічного комплексу доцільно ввести кількісний показник ефективності функціонування, що враховує вплив таких часткових відмов.

Вибір відповідного показника ефективності функціонування у кожному конкретному випадку визначається типом системи, її призначенням, видом виконуваного завдання, характером різних зовнішніх умов й іншими чинниками.

Оцінювання ефективності функціонування системи можна проводити для двох типів систем:

- 1) системи тривалої дії;
- 2) системи короткочасної дії.

Система тривалої дії виконує деяке потрібне від неї завдання протягом інтервалу часу тривалістю t_0 , починаючи з деякого t . Ефективність функціонування такої системи залежить від конкретної реалізації процесу зміни станів системи протягом цього періоду.

Система короткочасної дії виконує завдання, тривалість вирішення яких t_0 така, що за цей час система напевно залишається в одному і тому ж стані. Практично можна вважати, що величина t_0 дорівнює нулю. Системи короткочасної дії є окремим випадком систем тривалої дії [171].

У деякий довільний момент часу кожен з елементів системи може знаходитися в певному стані, наприклад, в стані працездатності або в стані відмови. Сукупність станів елементів системи однозначно визначає стан системи в цілому.

Кожен стан системи короткочасної дії може бути охарактеризований цілком певним умовним показником ефективності функціонування. Цей показник кількісно характеризує якість виконання системою своїх функцій за умови, що вона при цьому знаходиться саме в даному стані.

З часом система зазнає зміни своїх станів через зміни станів елементів (відмови елементів, їх відновлення і ін.), що входять до її складу. Кожна реалізація процесу переходів системи тривалої дії зі стану в стан може бути охарактеризована цілком певним умовним показником ефективності функціонування. Цей показник кількісно характеризує якість виконання системою своїх функцій за умови, що система при цьому під час вирішення задачі мала саме дану реалізацію процесу переходів з одного стану в інший.

Розглянемо загальну схему оцінювання ефективності функціонування систем короткочасної дії.

Якщо позначити через $h_s(t)$ вірогідність того, що система короткочасної дії у момент часу t знаходиться в s -му стані фаз, то показник

ефективності функціонування системи короткочасної дії може бути визначений формулою

$$E(t) = \sum_s h_s(t) \Phi_s \quad (5.1)$$

де Φ_s — умовний показник ефективності функціонування системи і в s -му стані. Підсумовування проводиться по всіх станах системи.

Для системи, що складається з n взаємно незалежних елементів, кожен з яких може знаходитися лише в двох станах (працездатності і відмови), вірогідності $h_s(t)$ легко виражаються через показники надійності елементів системи:

вірогідність того, що всі елементи системи працездатні,

$$h_0(t) = r_1(t)r_2(t)\dots r_n(t) = \prod_{i=1}^n r_i(t); \quad (5.2)$$

вірогідність того, що в стані відмови знаходиться тільки i -й елемент системи,

$$h_i(t) = r_1(t)\dots r_{i-1}(t)q_i(t)r_{i+1}(t)\dots r_n(t) = \frac{q_i(t)}{r_i(t)} \prod_{k=1}^n r_k(t); \quad (5.3)$$

вірогідність того, що в стані відмови знаходиться тільки i -й і j -й елементи системи

$$h_{ij}(t) = \frac{q_i(t)}{r_i(t)} \frac{q_j(t)}{r_j(t)} \prod_{k=1}^n r_k(t). \quad (5.4)$$

Тут через $r_i(t)$ позначена вірогідність стану працездатності i -го елемента системи у момент часу t , а $q_i(t) = 1 - r_i(t)$.

У випадку, якщо має місце умова

$$\max q_i(t) \ll 1/n, \quad (5.5)$$

оцінювання ефективності функціонування системи може бути проведене за наближеною формулою

$$\tilde{E}(t) \approx \Phi_0 \left[1 - \sum_{i=1}^n q_i(t)(1 - \Phi_i^*) \right], \quad (5.6)$$

$$\text{де } \Phi_i^* = \Phi_i / \Phi_0.$$

Формула (3.6) дає занижену оцінку в порівнянні з дійсним значенням.

Похибка наближеної оцінки ефективності за формулою (3.6) має порядок (груба оцінка)

$$\delta \sim \frac{n(n-1)}{2} [\max q_i(t)]^2 \Phi_0 \quad (5.7)$$

Оцінимо ефективність системи тривалої дії.

Якщо позначити через $dh_{\pi}(t, t+t_0)$ елемент вірогідності того, що система тривалої дії в інтервалі $[t, t+t_0]$ мала π -у реалізацію процесу переходу з одного стану в інший і через Φ_{π} – умовний показник ефективності функціонування системи для цієї реалізації процесу, то показник ефективності функціонування системи тривалої дії може бути визначений за формулою

$$E(t, t+t_0) = \int_{G_{\pi}} \Phi_{\pi} dh_{\pi}(t, t+t_0), \quad (5.8)$$

де інтеграція проводиться за простором всіх можливих реалізацій процесу переходу системи з одного стану в інший в інтервалі часу $[t, t+t_0]$.

Для системи, що складається з n незалежних невідновних елементів, кожен з яких може знаходитися лише в двох станах (працездатності і відмови), формула (5.8) може бути записана у вигляді

$$\begin{aligned} E(t, t+t_0) = & \Phi_0 h_0 + \sum_{i=1}^n h_i^* \int_t^{t+t_0} \Phi_i(x_i) f_i(x_i) dx_i + \sum_{1 \leq i < j \leq n} h_{ij}^* \int_t^{t+t_0} f_i(x_i) dx_i \int_t^{t+t_0} \Phi_{ij}(x_i, x_j) f_j(x_j) dx_j + \\ & + \sum_{1 \leq i < j < k \leq n} h_{ijk}^* \int_t^{t+\tau} f_i(x_i) dx_i \int_t^{t+t_0} f_j(x_j) dx_j \int_t^{t+t_0} \Phi_{ijk}(x_i, x_j, x_k) f_k(x_k) dx_k + \dots, \end{aligned} \quad (5.9)$$

де $f_i(x_i)$ – щільність вірогідності відмови i -го елемента у момент часу x_i ; h_0 – вірогідність того, що жоден з елементів системи не відмовить протягом інтервалу $[t, t+t_0]$,

$$h_0 = \prod_{i=1}^n r_i(t, t+t_0); \quad (5.10)$$

h_i^* — вірогідність того, що всі елементи, не включаючи i -го, не відмовлять протягом інтервалу $[t, t+t_0]$,

$$h_i^* = \prod_{\substack{k=1 \\ k \neq i}}^n r_k(t, t+t_0) = \frac{1}{r_i(t, t+t_0)} h_0; \quad (5.11)$$

h_{ij}^* — вірогідність того, що елементи, не включаючи i -го і j -го, не відмовлять протягом інтервалу $[t, t+t_0]$,

$$h_{ij}^* = \frac{1}{r_i(t, t+t_0) \cdot r_j(t, t+t_0)} h_0; \quad (5.12)$$

Φ_0 — умовний показник ефективності функціонування системи за умови, що жоден з елементів не відмовив в інтервалі $[t, t+t_0]$; $\Phi_i(x_i)$ — умовний показник ефективності функціонування системи за умови, що відмовив тільки i -й елемент, причому відмова його відбулася у момент часу $x_i(t < x_i < t+t_0)$; $\Phi_{ij}(x_i, x_j)$ — умовний показник ефективності функціонування системи за умови, що відмовили тільки i -й і j -й елементи, причому відмови їх відбулися в моменти часу x_i і x_j відповідно ($t < x_i < t+t_0$, $t < x_j < t+t_0$).

У випадку, якщо виконується умова

$$\max_{1 \leq i \leq n} q_i(t, t+t_0) = \max_{1 \leq i \leq n} \int_t^{t+t_0} f_i(x_i) dx_i < 1/n, \quad (5.13)$$

можливе наближене оцінювання

$$\tilde{E} = \Phi_0 \left\{ 1 - \sum_{i=1}^n \left[q_i(t, t+t_0) - \int_t^{t+t_0} \Phi_i^*(x_i) f_i(x_i) dx_i \right] \right\}, \quad (5.14)$$

де $\Phi_i^*(x_i) = \Phi_i(x_i)/\Phi_0$.

Похибка оцінки не перевищує величини

$$\delta \sim \frac{n(n-1)}{2} \max_{1 \leq i \leq n} [q_i(t, t+t_0)]^2 \Phi_0. \quad (5.15)$$

Слід зазначити, що ряд систем характеризується дуже простим видом умовного показника ефективності функціонування: кожен елемент такої системи вносить свою певну і незалежну частку до загального вихідного ефекту. Такого типу умовні показники ефективності характерні для систем, що є сукупністю технологічного комплексу [132].

Якщо деякий i -й елемент такої системи вносить до загального вихідного ефекту деяку частку φ_i , то можна записати:

$$\Phi_i = \Phi_0 - \varphi_i, \quad \Phi_{ij} = \Phi_0 - (\varphi_i + \varphi_j). \quad (5.16)$$

Для систем короткочасної дії такого типу у момент часу t маємо

$$E = \sum_{i=1}^n \varphi_i r_i(t), \quad (5.17)$$

де $r_i(t)$ – вірогідність стану працездатності i -го елемента у момент часу t .

Для систем тривалої дії, у яких i -й елемент дає «внесок» $\varphi_i(t_i)$ в загальний вихідний ефект системи у разі відмови в момент $t \leq t_i \leq t+t_0$ вираз для ефективності можна записати:

$$E(t, t+t_0) = \sum_{i=1}^n \left[r_i(t, t+t_0) \varphi_{0i} + \int_t^{t+t_0} \varphi_i(x_i) dx_i \right],$$

де φ_{0i} – «внесок» i -го елемента в загальний вихідний ефект системи у разі безвідмовної роботи в інтервалі часу $[t, t+t_0]$.

5.2 Моделювання системи ІВПМ

З розділів I і II ми можемо зробити висновок, що саме від системи III, якою є ІВПМ залежить і робочий режим, і заготовка з порошкового матеріалу. Тому доцільно буде створити модель саме системи ІВПМ.

Більш уважний аналіз показує, що ефективність роботи складових ІВПМ можна покращити, використавши метод локального випадкового пошуку [51] або алгоритмічну модель випадкового пошуку ідентифікації багатостадійного технологічного процесу [156]. Ефективність можна покращити за рахунок використання напрацювань експертних систем, де розроблені методи системного підходу і метод досліджень різноманітних об'єктів, що функціонують в умовах невизначеності [156]. ІВПМ характеризується значною невизначеністю своєї поведінки. В роботі [147] висвітлено питання забезпечення надійності машин на етапах проектування, виготовлення та їхньої промислової експлуатації. Розглянуто взаємопов'язаний комплекс задач: тертя та знос .

У зв'язку з цим розроблено підходи і алгоритми оцінювання точності чисельних розрахунків надійності та ефективності роботи елементів ІВПМ [102, 103, 128].

У загальному випадку надійнісні ланки систем нашої системи зводяться до послідовних з'єднань (рис. 5.1), оскільки не завжди вдається резервувати такі пристрої, як датчики, функціональні блоки, виконавчі механізми та ін. Розглянемо методику розрахунку інтенсивності відмов λ - характеристик при послідовному з'єднанні системи

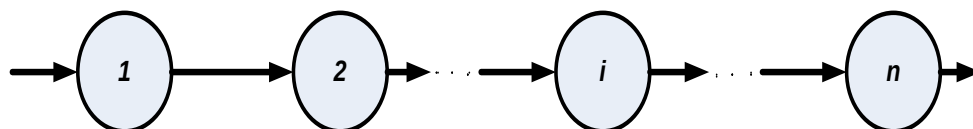


Рисунок 5.1 – Надійнісна ланка системи

У випадку відмови i -го елемента (блока) неспотворений сигнал проходить на вихід $(i-1)$ – елемента, а в подальшому або зовсім не проходить по ланцюгу, або спотворюється. Кожний елемент каналу системи у загальному випадку може знаходитись в трьох станах: справному, несправному 1, коли відмова елемента не викликає хибного спрацювання системи (небезпечна відмова), та несправному 2, коли відмова елемента викликає хибне спрацювання системи, якщо всі інші елементи справні.

Якщо в момент часу t відмовив елемент з індексом i , то в інтервалі часу $t, t + \Delta t$ стан каналу системи буде визначатись станом елемента з індексом i та усіх елементів з індексами, більшими i . Стан елементів з індексами менших i , не впливають на стан каналу системи.

Припустимо, що канал системи знаходиться в даний момент часу у стані $1i$, якщо відмовив елемент з індексом i (причому i – максимальне серед усіх, що відмовили) і елемент з індексом i має відмову виду 1). Аналогічно визначимо стан $2i$ каналу системи. Припустимо також, що кожний з функціональних блоків (послідовних елементів рис. 5.1) системи має експоненціальний закон розподілу розподілення часу безвідмовної роботи.

Канал системи має такі властивості:

- 1) переходи каналу системи зі стану $1i$ в стан $2i$ не виникає без зовнішнього впливу;
- 2) зі стану $1i$ можливий перехід в стан з більшим індексом;
- 3) стан $2i$ каналу є поглинальним (кінцевим), тобто потрапляння в нього будь-якого з елементів визиває хибне спрацювання системи;
- 4) відмови каналу системи публічно не контролюються та не відновлюються впродовж робочого періоду пресування.

В прийнятих припущеннях процес переходів зі стану в стан для системи будемо розраховувати методами теорії масового обслуговування. Усі можливі стани каналу системи та переходи з одного стану в інший зобразимо на рисунку 5.2.

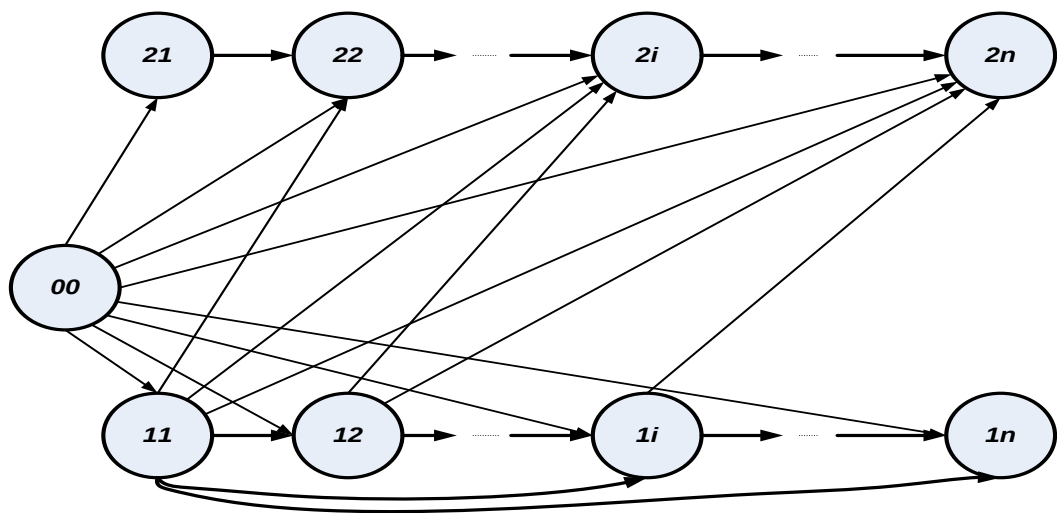


Рисунок 5.2 – Можливі стани та переходи системи ІВПМ

Таким чином ми отримали структурно-параметричну модель системи ІВПМ – формоутворення, що описується такою системою диференціальних рівнянь:

R_{2ji} – ймовірність того, що при відмові елемента з індексом i відмова системи буде виду 2 та при цьому серед індексів відмовивших елементів до моменту часу t індекс j максимальним;

λ_i – інтенсивність відмов i -го елемента системи, якщо цей елемент відмовив першим;

λ_{ji} – інтенсивність відмов i -го елемента за умови, що до моменту часу t уже існують несправні елементи у системі, відмовив також елемент з номером j , більшим номерів інших несправних елементів, але меншим номера i .

Ймовірність перебування системи ІВПМ в момент часу t в справному стані дорівнює $P_{00}(t)$. Ймовірність перебування системи ІВПМ в момент часу t в несправному стані небажаної відмови $1i$ за умови, що до моменту часу t система ІВПМ ні разу не потрапляла в несправний стан хибної відмови, дорівнює

$$Q_1(t) = \sum_{i=1}^n P_{1i}(t) \quad (5.19)$$

Ймовірність переходу системи ІВПМ за час t у стан хибної відмови $2i$ зі справного стану дорівнює

$$Q_2(t) = \sum_{i=1}^n P_{2i}(t) \quad (5.20)$$

Виходячи з властивості лінійності Лапласових зображень, отримаємо:

$$Q_1(S) = \sum_{i=1}^n P_{1i}(S), \quad (5.21)$$

$$Q_2(S) = \sum_{i=1}^n P_{2i}(S) \quad (5.22)$$

5.3 Класифікація оцінок ефективності та надійності роботи складових ІВПМ

Розглянемо основні показники надійності та ефективності для отримання чисельних оцінок. Як відомо із загальної теорії, ймовірність безвідмовної роботи є такою

$$P(t) = 1 - Q(t), \quad (5.23)$$

де $Q(t)$ – ймовірність того, що в межах заданої продовженості роботи відмова виникне.

За означенням маємо

$$P(t) = R(T \geq t); \quad Q(t) = R(T \leq t), \quad (5.24)$$

де $R(\cdot)$ – символ будь-якої події,

T – час роботи системи до відмови,

t – час роботи системи, для якої визначається ефективність і надійність.

За означенням з теорії ймовірностей функцією розподілення $F(x)$ випадкової величини ξ назвемо ймовірність того, що величина ξ прийме значення менше, ніж деяка величина x , тобто

$$F(x) = R(\xi \leq x). \quad (5.25)$$

При статистичному оцінюванні емпірична ймовірність відсутності відмови визначається як відношення:

$$P_E(t) = \frac{N_0 - n(t)}{N_0} = \frac{N_0}{N_0} - \frac{n(t)}{N_0} = 1 - \frac{n(t)}{N_0} = 1 - \frac{n(t)}{N_0} = 1 - Q_E(t), \quad (5.26)$$

N_0 – кількість вузлів, що випробовуються,

$n(t)$ – кількість вузлів, що відмовили за час t .

Порівнюючи вирази (5.23) та (5.26) бачимо, що вони схожі за своєю структурою, а за зовнішнім виглядом – співпадають. Зі збільшенням кількості вузлів N_0 , що випробовуються, емпіричні оцінки $Q_E(t)$ будуть асимптотично наближатись до $Q(t)$.

Початкові умови функцій $P(t)$ та $Q(t)$ – з однієї сторони, $P_E(t)$ та $Q_E(t)$ – з іншої, задовольняють вимоги:

$$P(0) = 1, Q(0) = 0; P_E(0) = 1, Q_E(0) = 0. \quad (5.27)$$

Як будь-яка безперервна функція, ймовірність відмови $Q(t)$ може бути диференційовна при усіх значеннях аргумента. Із теорії ймовірностей похідна функції розподілу носить назву щільності розподілу:

$$f(x) = \frac{dF(x)}{dx}, \quad (5.28)$$

де $f(x)$ – щільність розподілу ймовірностей випадкової величини ξ .

Для аналізу надійності щільності розподілу часу роботи ІВПМ до відмови назовем частотою відмов $a(t)$, яка буде мати вигляд:

$$\frac{dQ(t)}{dt} = \frac{-dP(t)}{dt} = a(t). \quad (5.29)$$

Тоді, вирази для оцінювання відмови $Q(t)$ та безвідмовної роботи машини приймуть вигляд:

$$Q(t) = \int_0^t a(t)dt; P(t) = 1 - \int_0^t a(t)dt. \quad (5.30)$$

За статистичним означенням частота відмов є відношенням числа вузлів, що відмовили в одиницю часу, до числа усіх вузлів, що випробовуються, за умови, що вони не відновлюються та замінюються справними:

$$a_E(t) = \frac{n(\Delta t)}{N_0 \Delta t}. \quad (5.31)$$

де $n(\Delta t)$ – кількість вузлів, що відмовили в інтервалі часу Δt .

На рисунку 5.3 наведена типова крива залежності частоти a від часу t .

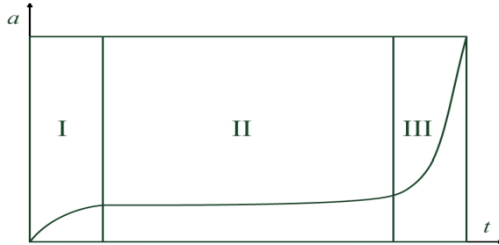


Рисунок 5.3 – Типова залежність частоти відмови a від часу t

Проміжок прироблення I обумовлений великою кількістю відмов на початку вузла з причини грубих дефектів елементів ІВПМ, помилок обслуговуючого персоналу та ін. Період прироблення будемо зменшувати за рахунок використання методів тренування та лабораторних випробувань [131, 134].

Проміжок випадкових відмов II характеризує нормальну роботу ІВПМ. Відмови на цьому проміжку мають, в основному, несподіваний характер.

Проміжок III визивається зносом ІВПМ, коли внаслідок старіння елементів поступово зростає частота відмов.

Важливим є визначення інтенсивності відмов λ , яка є умовною щільністю розподілу часу відмови, що є миттєвою частотою відмов вузла у момент часу t за умови відсутності відмов до цього моменту.

Спочатку визначимо емпіричну статистичну інтенсивність у вигляді

$$\lambda_E(t) = \frac{n(\Delta t)}{N_{сер} \Delta t}, \quad (5.32)$$

де $N_{сер} = \frac{(N_i + N_{i+1})}{2} = N_0 - n(\Delta t)$ – середня кількість справних вузлів в інтервалі часу Δt ; N_i, N_{i+1} – кількість вузлів на початку та в кінці проміжку часу Δt .

Ймовірнісне подання інтенсивності $\lambda(t)$ отримаємо, використовуючи основні означення теорії ймовірностей, замінивши $n(\Delta t)$ його значеннями у вигляді

$$\lambda(t) = \frac{a(t)}{P(t)} = \frac{-dP(t)}{dt} \cdot \frac{1}{P(t)}. \quad (5.33)$$

У відповідності з вище викладеним уточнимо значення $P(t)$, $Q(t)$, $a(t)$, з врахуванням умов (5.29), (5.30):

$$\begin{cases} P(t) = \exp(-\int_0^t \lambda(t) dt); \\ Q(t) = (1 - \exp(-\int_0^t \lambda(t) dt)); \\ a(t) = \lambda(t) \exp(-\int_0^t \lambda(t) dt). \end{cases} \quad (5.34)$$

Визначимо середній час відсутності відмови T , або математичного сподівання часу роботи вузла до відмови:

$$T = \int_{-\infty}^{+\infty} t a(t) dt. \quad (5.35)$$

Підставляючи у вираз (5.35) значення $a(t)$, проінтегрувавши частини та врахувавши, що $P(0)=1$, $P(\infty)=0$, а час не може бути від'ємним, отримаємо:

$$T = - \int_{-\infty}^{+\infty} t P'(t) dt = -t P(t) \Big|_0^{\infty} + \int_0^{\infty} P(t) dt = \int_0^{\infty} P(t) dt. \quad (5.36)$$

З врахуванням (5.34) отримаємо:

$$T = \int_0^{\infty} \exp(-\int_0^t \lambda(t) dt) dt. \quad (5.37)$$

Визначимо середній час відсутності відмови зі статистичних даних

$$T_E = \frac{\sum_{i=1}^{N_0} t_i}{N_0}, \quad (5.38)$$

де t_i – час роботи i -го пристрою до виникнення відмови.

Ця кількісна характеристика достатньо важлива так як дозволяє наглядно судити про ефективність та надійність вузла.

На заключному етапі визначимо дисперсію та СКВ часу виникнення відмови $D(t)$ та $\sigma(t)$:

$$D(t) = \int_0^{\infty} (t - T)^2 a(t) dt, \quad (5.39)$$

$$\sigma(t) = \sqrt{D(t)} \quad (5.40)$$

Для визначення теоретичних положень (5.23) – (5.40) існує можливість використати практичні напрацювання накопичених статистичних джерел [123].

5.4 Розробка моделі, складання й обґрунтування множин вхідних та вихідних параметрів для оцінювання ефективності функціонування технологічного комплексу

Розробивши математичну модель для ІВПМ і оцінивши роботу його складових ми переходимо до узагальненої моделі всього комплексу на основі вхідних та вихідних параметрів.

Процес оцінювання ефективності функціонування технологічного комплексу, який складається з трьох систем, належить до категорії складних задач внаслідок того, що виникає потреба в урахуванні потужної множини

вхідних параметрів X , та вихідних параметрів N , та їхньої функції перетворення $F: X \rightarrow N$. Пропонуємо розв'язувати такі задачі шляхом декомпозиції складної функції на послідовність простіших так, що функції нижчих рівнів однозначно ідентифікують певні параметри у функціях вищих рівнів. Вирішення головної проблеми стає можливим тоді, коли розв'язки всіх підпроблем нижчих рівнів є отриманими [188].

Оцінювання ефективності функціонування процесу формоутворення заготовок з порошкових матеріалів на вібропресовому обладнанні полягає в послідовній реалізації ряду функцій. Задача прийняття рішення щодо оцінювання ефективності функціонування всього технологічного комплексу полягає у виборі адекватного рішення N з множини рішень Z_j ($j = \overline{1, J}$). Пропонується вибір здійснювати за допомогою оцінок ефективності функціонування технологічного комплексу на основі множини X оцінювальних параметрів x_i ($i = \overline{1, n}$, $n \leq N$).

Для оцінювання ефективності функціонування процесу необхідно вибрати певні критерії. Крім того, специфічністю побудови такої системи є необхідність врахування множини початкових вхідних параметрів, які є базою для розрахунку оцінювальних параметрів [83].

Особливість математичної моделі полягає у тому, що вона враховує множину початкових вхідних параметрів $K = (k_c)$ ($c = \overline{1, C}$); множину оцінювальних параметрів $X = (x_i)$ ($i = \overline{1, n}$) системи; функцію перетворення початкових параметрів на оцінювальні $F_1: K \rightarrow X$; множину декомпозиційних функцій $D = (Y, \dots, S, P)$ згортання параметрів, за якими здійснюється ідентифікація стану системи.

Для отримання результату щодо оцінювання ефективності функціонування процесу формоутворення при прийнятті рішення, виходячи з початкових вхідних оцінювальних параметрів K , необхідно реалізувати вище вказані функції в такій послідовності:

$$K \xrightarrow{F_1} X \xrightarrow{D} Z_j.$$

Для визначення остаточної оцінки стану технологічного комплексу Z_j запропоновано враховувати комбінацію складних функцій – параметрів $P_1 \dots P_q$ – стану, що оцінюють групи показників вищого рівня ієрархії [11]:

$$Z_j = F(P_1, P_q). \quad (5.41)$$

У свою чергу, вхідними даними для обчислення складних параметрів P_1 та P_q є сукупність параметрів, що оцінюють певні групи показників ($S_1 \dots S_p$), тобто:

$$P_1 = F(S_1 \dots S_t), P_q = F(S_e \dots S_p), \quad (5.42)$$

де $t, e, p \in M$, а M – множина функціоналів узагальнювальних параметрів P -го рівня.

У результаті подальшого розбиття, що зумовлюється врахуванням впливу постійно змінюваної множини чинників зовнішнього та внутрішнього середовищ, складні параметри передостаннього рівня ($Y_1 \dots Y_m$) є функціями від відповідних оцінювальних параметрів x_i стану, зокрема:

$$Y_1 = f(x_1 \dots x_l) \dots Y_m = f(x_k \dots x_n), \quad (5.43)$$

де $l, k, n \in N$.

При цьому оцінювальні параметри x_i визначаються на базі множини початкових вхідних параметрів K і функції перетворення $F_1 : X = F_1(K)$, $K = (k_c)$, $c = \overline{1, C}$; $X = (x_i)$, $i = \overline{1, n}$.

Виходячи зі складених функцій (5.41)–(5.43), необхідно сформулювати множину X відповідних параметрів для оцінювання ефективності функціонування всього технологічного процесу. Ця множина формується за допомогою множини початкових вхідних K параметрів $(k_1 \dots k_e)$, де $e \in N$. Визначення даної множини K здійснюється за допомогою аналізу системи.

Запропоновано таку загальну структурну модель (рис. 5.4) оцінювання ефективності функціонування процесу формоутворення заготовок з

порошкових матеріалів на вібропресовому обладнанні з гідроімпульсним приводом [11].

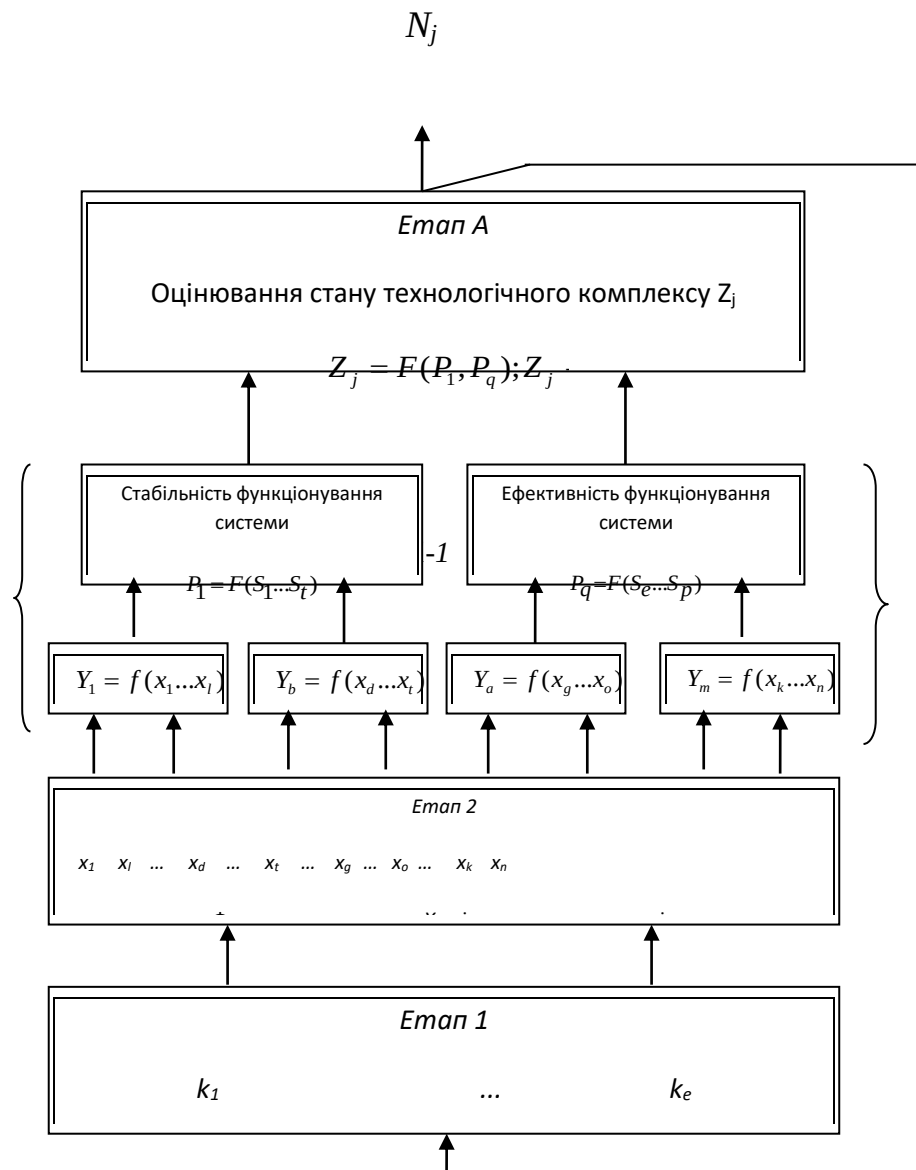


Рисунок 5.4 – Загальна структурна модель процесу оцінювання ефективності процесу формоутворення заготовок на вібропресовому обладнанні з гідроімпульсним приводом

На першому етапі здійснюється формування множини K початкових вхідних параметрів всього технологічного комплексу. Другий етап

передбачає формування множини X оцінювальних параметрів стану кожної системи на базі множини K початкових вхідних параметрів [11]. На третьому і наступних проміжних етапах, зокрема S і P , відбувається формування складних узагальнених показників оцінювання ефективності функціонування кожної системи $Y_1...Y_m$; $S_1...S_p$; $P_1...P_q$. На найвищому етапі A ідентифікується рішення Z_j , $j = \overline{1, J}$, яке визначає ефективність функціонування всього технологічного комплексу.

Така структура загальної математичної моделі дозволяє як додавати, так і видаляти аналізовані показники, враховуючи складність системи. Крім того, ієрархічність запропонованої моделі дозволяє спростити процес оцінювання з використанням сучасного математичного апарату.

Для визначення функцій (5.41)–(5.43) необхідно сформувати множини вхідних та вихідних параметрів. Ці множини повинні охоплювати широкий спектр параметрів впливу, а також задовольняти умови повноти, дієвості та мінімальності. За критерієм повноти необхідно обрати таку кількість параметрів, щоб вона в повному обсязі охоплювала весь технологічний комплекс і вилучення хоча б одного з обраних параметрів змінювало б результат. Як показав аналіз існуючих методів оцінювання ефективності функціонування нашого технологічного комплексу та використаних у них параметрів, найбільш широко та повно оцінюють функціонування процесу такі групи параметрів: середня щільність заготовки (ρ , кг/м³), лінійний середньостатистичний розмір частинки матеріалу (a , м), геометричний фактор для початкового стану заготовки (R_0 , м), динамічний модуль умовної пружності (K_{zi} , МПа), площа відкритої поверхні з боку пуансона (S_{za2} , м²), висота заготовки (h_{zi} , м); тривалість ударного імпульсу (τ_0 , с), зусилля додаткового статичного навантаження заготовки ($P_{ст}$, Н), максимальне зусилля навантаження заготовки ($F_{з.мах}$, Н), загальне число ходів робочого столу ІВІМ (n), частоту (f_p , Гц); енергія одноциклового гідроаккумулятора (E_a , Дж), об'єм гідросистеми (W_a , м³), тиск (p , МПа),

коефіцієнт пружності (K_{np} , Па), маса (m , кг), жорсткість пружин повернення (c_y , Н/м).

За критерієм дієвості на базі сформованої множини (за критерієм повноти) необхідно виділити параметри з максимальним ступенем результативності. середня щільність заготовки (ρ , кг/м³), площа відкритої поверхні з боку пуансона (S_{zag} , м²), геометричний фактор для початкового стану заготовки (R_0 , м), лінійний середньостатичний розмір частинки матеріалу (a , м); тривалість ударного імпульсу (τ_0 , с), зусилля додаткового статичного навантаження заготовки (P_{cm} , Н), максимальне зусилля навантаження заготовки ($F_{z.max}$, Н), повний час робочого процесу (t_{syn} , с); енергія одноциклового гідроаккумулятора (E_a , Дж), тиск (p , МПа), маса робочого столу (m , кг), жорсткість пружин повернення (c_y , Н/м). За критерієм мінімальності було звужено множину окреслених за двома попередніми критеріями параметрів до множини X : а саме, середня щільність заготовки (ρ , кг/м³), лінійний середньостатичний розмір частинки матеріалу (a , м), геометричний фактор для початкового стану заготовки (R_0 , м), площа відкритої поверхні з боку пуансона (S_{zag} , м²), тривалість ударного імпульсу (τ_0 , с), зусилля додаткового статичного навантаження заготовки (P_{cm} , Н), повний час робочого процесу (t_{syn} , с); енергія одноциклового гідроаккумулятора (E_a , Дж), сумарна зведена маса (m , кг).

Отже, множина оцінювальних параметрів X забезпечує формування таких складних параметрів які оцінюють систему I (заготовка) – (Y_1), систему II (робочий режим) – (Y_2), систему III (машина) – (Y_3).

$Y_1 = f(x_1...x_4)$, характеризується оцінювальними параметрами: x_1 – щільність заготовки, x_2 – лінійний середньостатистичний розмір частинки матеріалу, x_3 – геометричний фактор для початкового стану заготовки, x_4 – площа відкритої поверхні з боку пуансона.

$Y_2 = f(x_5 \dots x_7)$, характеризується оцінювальними параметрами: x_5 – питоме статичне зусилля, x_6 – тривалість ударного імпульсу, x_7 – повний час робочого ходу.

$Y_3 = f(x_8 \dots x_9)$, характеризується оцінювальними параметрами: x_8 – енергія одноциклового гідроаккумулятора, x_9 – сумарна маса.

Щільність заготовки являє собою функцію x_1 , визначається за допомогою параметрів: $k_1 (m_{заг})$ – маса навішування порошкового матеріалу, $k_2 (W_a)$ – об'єм заготовки після завершення її формоутворення; лінійний середньостатистичний розмір частинки матеріалу $x_2 = k_3 (a)$; геометричний фактор для початкового стану заготовки $x_3 = k_4 (R_0)$; площа відкритої поверхні з боку пуансона $x_4 = k_5 (S_{заг})$.

Питоме статичне зусилля являє собою функцію x_5 , визначається за допомогою параметрів: $k_6 (m)$ – маса, $k_7 (g)$ – прискорення вільного падіння, $k_5 (S_a)$ – площа відкритої поверхні; тривалість ударного імпульсу, що являє собою функцію x_6 , визначається сукупністю параметрів: $k_8 (h_{30})$ – висота заготовки у початковий момент ВУП, $k_9 (h_{3к})$ – висота заготовки у кінцевий момент ВУП, $k_{10} (H_{30})$ – модуль умовної пружності у початковий момент ВУП, $k_{11} (H_{3к})$ – модуль умовної пружності у кінцевий момент ВУП, $k_{12} (\rho_{30})$ – середня щільність заготовки у початковий момент ВУП, $k_{13} (\rho_{3к})$ – середня щільність заготовки у кінцевий момент ВУП; повний час робочого ходу x_7 , визначається за допомогою параметрів: $k_{14} (n)$ – загальне число ходів робочого столу, $k_{15} (f)$ – частота.

Енергія, що являє собою функцію x_8 , визначається за допомогою параметрів: $k_{16} (p)$ – тиск, $k_{17} (W_0)$ – об'єм гідросистеми, $k_{18} (K_{np})$ – коефіцієнт пружності; інерційна маса являє собою функцію $x_9 = k_{19} (m)$.

Оцінювальні параметри обчислюються на основі початкових вхідних параметрів.

На основі цих вхідних параметрів формується множина X кількісних параметрів всього процесу (табл. 5.1).

Таблиця 5.1 – Множина параметрів технологічного комплексу

Назва показника	Позначення показника	Вхідні параметри
Y_1		
Щільність заготовки (кг/м ³)	x_1	k_1/k_2
Лінійний середньостатистичний розмір частинок матеріалу (м)	x_2	k_3
Геометричний фактор початкового стану заготовки	x_3	k_4
Площа відкритої поверхні (м ²)	x_4	k_5
Y_2		
Питоме статичне зусилля (МПа)	x_5	$k_6 \cdot k_7 / k_5$
Тривалість ударного імпульсу (с)	x_6	$\frac{2k_7 \cdot k_8}{k_8 \cdot \sqrt{\frac{k_{10}}{k_{12}}} - k_8 \cdot \sqrt{\frac{k_{11}}{k_{13}}}}$
Повний час робочого ходу (с)	x_7	$k_{14} \cdot k_{15}$
Y_3		
Енергія одноциклового гідроаккумулятора (Дж)	x_8	$k_{16} \cdot k_{17} / 2k_{18}$
Інерційна маса (кг)	x_9	k_{19}

Таким чином, визначено множину оцінювальних параметрів x_i $i = \overline{1,9}$, а саме: $(x_1 \dots x_9)$, значення яких обчислюються на базі вхідних початкових параметрів $(k_1 \dots k_{19})$.

Визначимо множину вихідних параметрів $Z = (Z_1, \dots, Z_j)$ за критеріями повноти та дієвості, що в повній мірі дозволяє задовольнити потреби споживачів цієї системи [11, 116]. Розглянемо кожне з Z_j ($j = \overline{1,3}$) рішень: Z_1 – відмінний; Z_2 – нормальний; Z_3 – задовільний; Z_4 – критичний; Z_5 – незадовільний.

З огляду на вищенаведене обґрунтування множин параметрів, подано таку уточнену структурну модель процесу оцінювання ефективності процесу

формоутворення заготовок на вібропресовому обладнанні з гідроімпульсним приводом (рис. 5.5).

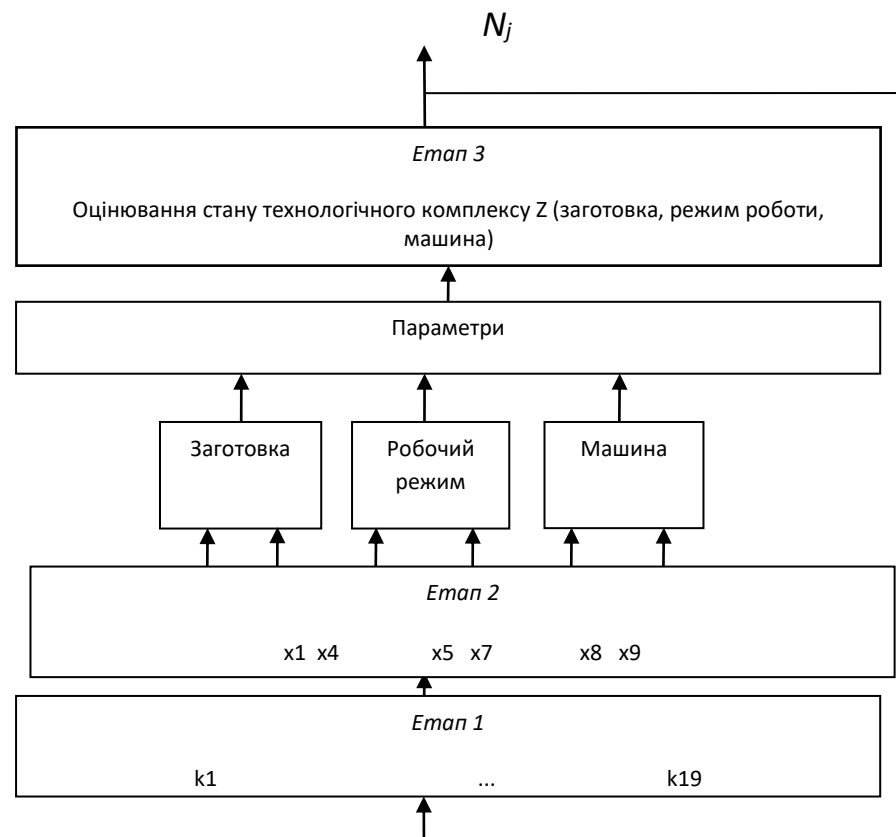


Рисунок 5.5 – Уточнена структурна модель процесу оцінювання ефективності функціонування технологічного комплексу

5.5 Побудова методу оцінювання стану технологічного комплексу на базі математичного апарату нечітких множин

Для побудови методу оцінювання стану технологічного комплексу на основі нечітких множин запишемо такі етапи [188]:

Визначимо множину T оцінювальних лінгвістичних термів, що являє собою сукупність значень лінгвістичних змінних. Лінгвістична змінна – змінна, яка приймає значення з множини слів або словосполучень будь-якої мови [83]. В нашому випадку лінгвістична змінна це – ефективність технологічного комплексу (заготовка – робочий процес – машина). Для багатьох задач, що розв’язуються в межах людиномашинних систем, точність отриманого розв’язку щодо рівня працездатного стану системи дозволяє ідентифікувати достатність трьох – Н (низький), С (середній), В (високий) ($T = 3$) – або п’яти лінгвістичних термів – Н (низький), НС (нижче середнього), С (середній), ВС (вище середнього), В (високий) ($T = 5$). Саме така кількість T дозволяє оптимізувати (як за критерієм часу, так і за складністю) роботу експертів. Такий вибір кількості термів зумовлюється також тим, що адекватні і точні рішення приймаються навіть кваліфікованішими експертами з урахуванням 7 ± 2 аналізованих чинників. Наявність хоча б 2-х характеристичних параметрів для кожного терма, вже зумовлює необхідність врахувати 6 (при $T = 3$) або 10 (при $T = 5$) характеристичних параметрів при прийнятті рішення щодо отримання оцінки ефективного функціонування системи, кількість яких зростає з ростом T . Отже, така кількість лінгвістичних термів є достатньою.

Далі побудуємо графіки функцій належності μ^{Z_j} , $j = \overline{1, J}$ значень параметрів $(x_1, \dots, x_9)$ лінгвістичним термам у загальному вигляді.

Для кожного лінгвістичного терма задамо функцію належності, виходячи з варіантів функцій, що наведені у праці [83]. Експертами була надана інформація, що специфіка обраних параметрів полягає в тому, що при їх зміні в певному проміжку значення функції не змінюється, а за межами цього проміжку існує нелінійна залежність.

Було визначено, що для деяких показників доцільно використати три нечіткі терми, оскільки діапазони зміни таких показників невеликі (в межах від 0 до 1). А для показників, діапазони зміни яких ширше, було запропоновано використовувати п’ять нечітких термів.

Таким чином, отримаємо функції належності трьох нечітких термів для параметрів x_2, x_3, x_4, x_9 і п'яти термів для параметрів x_1, x_5, x_6, x_7, x_8 , які зображено на рис. 5.6, рис. 5.7.

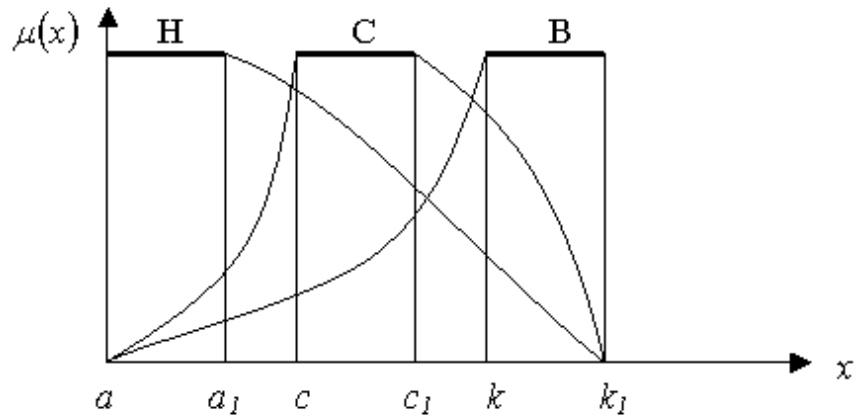


Рисунок 5.6 – Функції належності трьох нечітких термів для параметрів

x_2, x_3, x_4, x_9

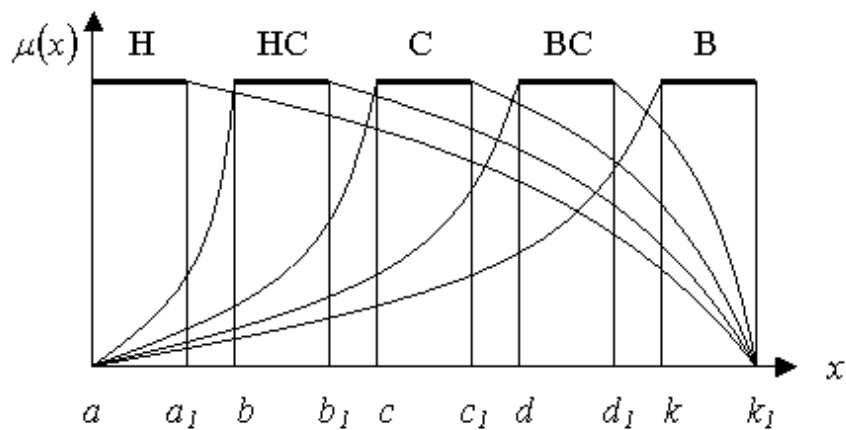


Рисунок 5.7 – Функції належності п'яти нечітких термів для параметрів

x_1, x_5, x_6, x_7, x_8

Визначимо математичні формули, що описують функції належності μ^{Z_j} на рис. 5.6, 5.7.

$$\mu^H(x) = \begin{cases} 1, & x \in [a, a_1]; \\ \left(\frac{k_1 - x}{k_1 - a_1} \right)^{0,8}, & x \in [a_1, k_1]. \end{cases} \quad (5.44)$$

$$\mu^{HC}(x) = \begin{cases} \left(\frac{x - a}{b - a} \right)^{1,2}, & x \in [a, b]; \\ 1, & x \in (b, b_1); \\ \left(\frac{k_1 - x}{k_1 - b_1} \right)^{0,8}, & x \in [b_1, k_1]. \end{cases} \quad (5.45)$$

$$\mu^C(x) = \begin{cases} \left(\frac{x - a}{c - a} \right)^{1,2}, & x \in [a, c]; \\ 1, & x \in (c, c_1); \\ \left(\frac{k_1 - x}{k_1 - c_1} \right)^{0,8}, & x \in [c_1, k_1]. \end{cases} \quad (5.46)$$

$$\mu^{BC}(x) = \begin{cases} \left(\frac{x - a}{d - a} \right)^{1,2}, & x \in [a, d]; \\ 1, & x \in (d, d_1); \\ \left(\frac{k_1 - x}{k_1 - d_1} \right)^{0,8}, & x \in [d_1, k_1]. \end{cases} \quad (5.47)$$

$$\mu^B(x) = \begin{cases} \left(\frac{x - a}{k - a} \right)^{1,2}, & x \in [a, k]; \\ 1, & x \in (k, k_1]. \end{cases} \quad (5.48)$$

У цих рівняннях вибрано, з урахуванням думок експертів, степеневі коефіцієнти 1,2 та 0,8, що наближують дані функції до реальних залежностей [83, 188].

Для Т лінгвістичних термів для оцінювальних параметрів $(x_1, \dots, x_9)$ складемо таблицю значень характеристичних точок $a, a_1, b, b_1, c, c_1, d, d_1, k, k_1$, побудовану кожним із залучених експертів. Кожен з них надав своє

бачення діапазону значень $(a \dots k_1)$ (додаток А).

З урахуванням різної компетентності експертів визначимо агреговані значення характеристичних точок $a, a_1, b, b_1, c, c_1, d, d_1, k, k_1$ для Т лінгвістичних термів для параметрів $x_1, \dots, x_9$.

Агреговане значення параметрів $a, \dots, k_1$ для кожного з показників визначаємо за формулою:

$$AZ = \sum_{s=1}^d k_{ns} \cdot Z_s,$$

де k_{ns} – компетентність s -го експерта; Z_s – значення параметра, надане s -м експертом.

Розрахуємо агреговані значення AZ параметрів $(a \dots k_1)$ для показника x_1 (щільність заготовки від 2,1 до 2,9 г/см³):

Параметр a : $AZ = 2,1$; параметр a_1 : $AZ = 2,3$; параметр c : $AZ = 2,5$; параметр c_1 : $AZ = 2,7$; параметр k : $AZ = 2,8$; параметр k_1 : $AZ = 2,9$.

Аналогічним чином визначаємо агреговані значення цих параметрів для усіх інших показників.

Складемо матриці знань для оцінювання груп $Y_1 \dots Y_3$ параметрів ефективності функціонування технологічного комплексу, а також остаточної оцінки Z_j , використовуючи інформацію, що була надана експертами.

Матриця знань для групи показників Y_1 (заготовка) подана у таблиці 5.12.

Матриці знань для оцінювання усіх інших груп параметрів $(Y_2 \dots Y_3)$ ефективності функціонування вібропресової машини, а також його остаточної оцінки наведені у додатку Б.

На кінцевому етапі опишемо побудовані матриці логічними рівняннями, що пов'язують функції належності змінних $Y_1 \dots Y_3$ та Z_j , використовуючи методику, що наведена в [83].

Таблиця 5.2 – Матриця знань для системи І (заготовка) Y_1

x_1	x_2	x_3	x_4	Y_1
B	B	B	B	B
BC	B	B	B	
C	B	B	B	
B	B	C	B	
B	B	B	C	
B	C	B	B	
BC	B	C	B	
BC	C	C	B	BC
BC	B	C	C	
B	C	B	C	
C	C	B	B	
C	B	B	C	
B	C	C	H	
BC	C	C	C	
C	C	C	C	C
HC	C	C	C	
H	B	C	B	
C	H	C	C	
BC	HC	H	H	
C	C	H	H	
HC	C	H	C	
H	H	C	C	HC
HC	C	C	H	
BC	H	H	C	
H	H	H	H	
C	H	H	H	
HC	H	H	H	
H	H	H	C	
H	C	H	H	H
H	H	C	H	
H	H	C	H	

Наведемо приклад логічного рівняння для групи показників Y_1 (заготовка), що описує високий терм:

$$\begin{aligned} \mu^b(Y_1) = & \mu^b(x_1) * \mu^b(x_2) * \mu^b(x_3) * \mu^b(x_4) \vee \mu^{bc}(x_1) * \mu^b(x_2) * \mu^c(x_3) * \mu^b(x_4) \vee \mu^c(x_1) * \mu^b(x_2) * \mu^b(x_3) * \mu^b(x_4) \vee \\ & \vee \mu^b(x_1) * \mu^b(x_2) * \mu^c(x_3) * \mu^b(x_4) \vee \mu^b(x_1) * \mu^b(x_2) * \mu^b(x_3) * \mu^c(x_4) \vee \mu^b(x_1) * \mu^c(x_2) * \mu^b(x_3) * \mu^b(x_4). \end{aligned}$$

У цих багатопараметричних функціях знак « $\vee$ » – логічна операція «АБО», а « $*$ » – логічна операція «І». Отже, при розрахунку остаточного результату з логічного запису усіх функцій належності, що об'єднані операцією І ($*$), обирається мінімальне значення, а серед усіх функцій належності, що об'єднані операцією АБО ($\vee$), обирається максимальне значення [83].

Логічні рівняння для усіх інших термів цієї групи показників, а також груп показників ($Y_2 \dots Y_3$) та остаточної оцінки ефективного стану Z_j наведені у додатку В.

При цьому враховуються ваги параметрів $x_1 \dots x_9$, визначені і обґрунтовані у підрозділі 5.4.

Для врахування різних ступенів значимості параметрів $x_1 \dots x_9$, визначених експертами, введено вагові коефіцієнти параметрів $\alpha_1, \alpha_2, \dots, \alpha_n$, де n – кількість параметрів.

Для отримання більш точної оцінки ефективності процесу формоутворення заготовок з порошкових матеріалів на вібропресовому обладнанні з гідроімпульсним приводом піднесено функції належності $\mu(x_i)$ до степеня α_i :

$$(\mu(x_i))^{\alpha_i}, \quad (5.49)$$

$$\text{де } \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n \alpha_i = 1.$$

Тоді з урахуванням (3.49), функції, набувають вигляду:

$$\mu^{Z_j}(x_i) = \mu^{Z_j}(x_i)^{\alpha_j}, \quad j = \overline{1, J} (J = 5), \quad i = \overline{1, n} \quad (n = 16). \quad (5.50)$$

Остаточним результатом є найбільше зі значень функцій належності μ^{Z_j} , тобто

$$\mu^{Z_j} = \max\{\mu^{Z_1}, \mu^{Z_2}, \mu^{Z_3}, \mu^{Z_4}, \mu^{Z_5}\}.$$

Запропоновано алгоритм оцінювання ефективності процесу формоутворення заготовок з порошкових матеріалів на вібропресовому обладнанні з гідроімпульсним приводом, побудований з використанням нечітких множин [83] додаток В.

В п'ятому розділі роботи побудовані моделі та вибрані методи для підвищення ефективності процесу формоутворення заготовок з порошкових матеріалів на вібропресовому обладнанні з гідроімпульсним приводом. Наведена загальна схема оцінювання ефективності функціонування систем короткочасної дії, систем тривалої дії. Система тривалої дії виконує деяке потрібне від неї завдання протягом інтервалу часу тривалістю t_0 , починаючи з деякого t . Ефективність функціонування такої системи залежить від конкретної реалізації процесу зміни станів системи протягом цього періоду.

Система короткочасної дії виконує завдання, тривалість вирішення яких t_0 така, що за цей час система, напевно, залишається в одному і тому ж стані. Практично можна вважати, що величина t_0 дорівнює нулю. Системи короткочасної дії є окремим випадком систем тривалої дії.

З аналізу технологічного комплексу виділено систему ІІІ (ІВПМ), від якої залежить заготовка і робочий режим. Більш уважний аналіз показує, що ефективність роботи складових ІВПМ можна покращити, використавши метод локального випадкового пошуку або алгоритмічну модель випадкового

пошуку ідентифікації багатостадійного технологічного процесу. Ефективність можна покращити за рахунок використання напрацьованих експертних систем, де розроблені методи досліджень різноманітних об'єктів, що функціонують в умовах невизначеності. ІВПМ характеризується значною невизначеністю своєї поведінки. У зв'язку з цим нами розроблено підходи і алгоритми оцінювання точності чисельних розрахунків надійності та ефективності роботи елементів ІВПМ.

Створена узагальнена модель складання й обґрунтування множин вхідних та вихідних параметрів для оцінювання ефективності функціонування процесу формоутворення заготовок з порошкових матеріалів на вібропресовому обладнанні з гідроімпульсним приводом. Вперше побудований метод оцінювання процесу формоутворення на базі математичного апарату нечітких множин.

РОЗДІЛ 6

ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНІ ДОСЛІДЖЕННЯ ПРОЦЕСУ ФОРМОУТВОРЕННЯ ЗАГОТОВОК З ПОРОШКОВИХ МАТЕРІАЛІВ НА ВІБРОПРЕСОВОМУ ОБЛАДНАННІ З ГІДРОІМПУЛЬСНИМ ПРИВОДОМ

6.1 Оцінювання параметрів технологічного комплексу для підвищення ефективності процесу формоутворення

З попередніх досліджень з'ясували, що наш технологічний комплекс складається з трьох систем, які характеризуються певними параметрами. Параметри кожної системи взаємопов'язані між собою. Для того, щоб це експериментально довести потрібно вибрати критерій оцінювання ефективності всього технологічного процесу. Головним критерієм оцінювання методу формоутворення є якість заготовки. Саме якість заготовки виробу повинна забезпечуватись відповідними міцністю, щільністю та рівнощільністю по об'єму в умовах безвідходного виробництва, усуваючи подальшу механічну обробку для того, щоб задану заготовку можна було транспортувати до камери спікання без втрати її форми. Саме якість заготовки залежить від ефективності робочого процесу (формоутворення) та ефективності роботи машини (вібропресового обладнання). За якістю заготовки ми можемо сказати, як працює весь технологічний комплекс [147].

З досліджень, які виконувалися на вібропресі ІВІМ-5Л встановили закономірності впливу параметрів основних режимів ВУП заготовок виробів з порошкових матеріалів на досягнення розрахункових значень середньої щільності ρ_{cp} та відносної нерівнощільності ε_p заготовок після завершення процесу їхнього формоутворення. Значення ρ_{cp} та ε_p визначалися за допомогою виразів

$$\rho_{cp} = \frac{m_{zag}}{W_{zag}} \text{ та } \varepsilon_{\rho} = \frac{|\rho_1 - \rho_{cp}|}{\rho_{cp}} \cdot 100\%, \quad (6.1)$$

де m_{zag} – маса навішування порошкового матеріалу; W_{zag} – об’єм заготовки після завершення її формоутворення; ρ_i – середня щільність виділеного об’єму W_i заготовки масою m_i . За відомими аналітичними залежностями розраховувався об’єм заготовок правильної геометричної форми [178]. Для визначення лінійних розмірів використовувався штангенциркуль і мікрометр. Методом гідростатичного зважування встановлювався об’єм виділених (розрізаних) частин заготовок [138].

Для визначення маси використовувалися лабораторні ваги з набором важків. Мінімальне число вимірювань бралось рівним трьом для забезпечення вірогідності результатів 0,9...0,95 [147].

Оцінювання придатності заготовок, отриманих ВУП, проводилось порівнянням розрахункових величин ρ_{cp} та ε_{ρ} з їхніми допустимими значеннями $\rho_{cp} \geq \rho_{cp} \text{ і } \varepsilon_{\rho} \leq \varepsilon_{\rho}$, що дозволяє опосередковано охарактеризувати механічну міцність заготовок і рівномірність розподілення в них внутрішніх напруг. При проведенні попередніх технологічних експериментів оцінювання придатності заготовок проводилося також візуально за наявності на їхніх поверхнях ділянок пере- і недопресовувань у вигляді тріщин і механічних руйнувань ділянок тіла заготовок після витягання їх з контейнера прес-форми [141].

З досліджень визначили, що параметри заготовки ρ_{cp} та ε_{ρ} залежать від величини енергії E_a , накопиченої в одноцикловому гідроаккумуляторі для здійснення робочого ходу ІВПМ та енергії $E_{повн}$, яка витрачається на весь процес формоутворення.

Під час експериментальних досліджень були використані заготовки виробів «еталонних зразків» з порошкових матеріалів. «Еталонний зразок» – маса якого дорівнювала 110 г. – засипався в циліндричний контейнер діаметром 55 мм прес-форми закритого типу. Порошкові матеріали брались

чотирьох типів М1, М2, М3, М4. М1 – мінеральний порошок НЕФ (вологістю 13%, зв'язка жирова 3,2%); М2 – мінеральний порошок НЕФ (вологість 2%, зв'язка відсутня); М3 – карбід кремнію зел. № 4, 10, 12, М28 – 80% (бакеліт 10%, кокс 10%); М4 – вогнетривкий шамот (вологість 13,8%, зв'язка глиняна 31,2%).

6.2 Опис експериментального дослідження

Дослідження були проведені на вібропресі ІВПМ-5Л (рис.6.1). Даний вібропрес оснащений універсальним гідроімпульсним приводом з двокаскадним триходовим двопозиційним вібробуджувачем, приєднання якого можливо за схемами «на вході» та «на виході» (розд. 4.4).

Вузол пружного повернення робочої ланки ІВПМ-5Л виконаний у вигляді механічних пружин стискання, а додаткове статичне притискання рухомої поперечини до заготовки забезпечує гідроциліндр з незалежним допоміжним насосним приводом [141].

Для зміни параметрів навантаження на вібропресі ІВПМ-5Л передбачено: східчасту зміну подачі робочої рідини в ГПП відповідно від насосів НШ10 ($0,25 \cdot 10^{-3} \text{ м}^3/\text{с}$) та НШ46У ($10^{-3} \text{ м}^3/\text{с}$); статичне притискання пуансона до заготовки штоком гідроциліндра 8, що приводиться в рух від насоса допоміжного приводу НШ6 ($0,15 \cdot 10^{-3} \text{ м}^3/\text{с}$) при плавному регулюванні тиску налаштування спрацьовування запобіжного клапана $p_{2к}$ в межах від 0 до 2,5 МПа; використання змінних інерційних вантажів 7 (по 5 кг та 10 кг) загальною масою до 80 кг; плавне регулювання тиску p_1 налаштування спрацьовування вібробуджувача 3 в межах від 5 до 15 МПа під час налаштування запобіжного клапана на тиск $p_{1к} = 16 \text{ МПа}$; зміну об'єму порожнини гідроаккумулятора 2 в межах від 10^{-3} до $2,5 \cdot 10^{-3} \text{ м}^3$.

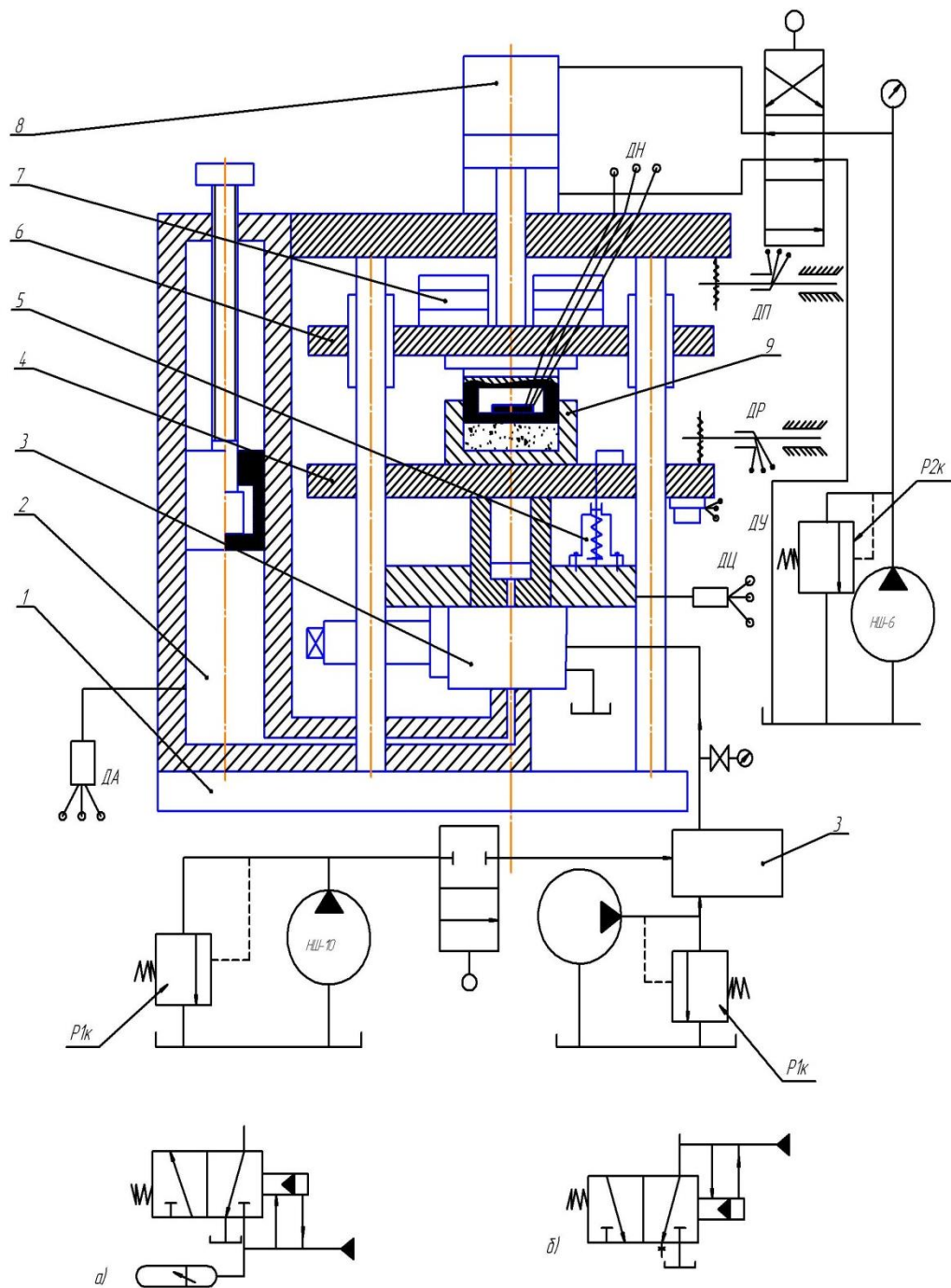


Рисунок 6.1 – Конструктивна схема вібропреса ІВІМ-5Л та принципові схеми розподілення робочої рідини при підключенні віброзбуджувача «на вході» (а) і «на виході» (б): 1 – станина; 2 – гідроаккумулятор з регульованим об'ємом; 3 – віброзбуджувач; 4 – робочий стіл; 5 – пружини пружного повернення; 6 – рухома поперечина; 7 – змінні інерційні вантажі; 8 – гідроциліндр статичного притискання; 9 – прес-форма; ДА та ДЦ – датчики тиску; 5 енергії E_a і вибір режиму ВУП на ІВІМ-5Л з віброзбуджувачем «на вході» здійснювалися зміною співвідношень параметрів ГП: об'єму

гідроаккумулятора (1200 см³; 1520 см³; 2000см³); тиску налаштування спрацьовування вібробуджувача (8 МПа; 10 МПа; 11 МПа); подачі насоса (0,25·10⁻³ м³/с – НШ10; 10⁻³ м³/с – НШ46У). Маса інерційного вантажу вибиралась з умови створення на поверхні заготовки питомого зусилля 0,1...0,15 МПа, а додаткове статичне притискання забезпечувало можливість його збільшення до 1МПа. Величина енергії E_a для кожного випадку визначалася розрахунковим шляхом за допомогою виразу $E_a = \frac{p_{\max}^2 W_0}{2K_{np}}$.

Значення K_{np} бралось постійним ($K_{np} = 1,41 \cdot 10^9$ Па) [89]. Для певних співвідношень параметрів приводу, які забезпечують енергії $E_{a1} = 34,2$ Дж ($W_{a1}=1,52 \cdot 10^{-3}$ м³; $p_1 = 8$ МПа), $E_{a2}=48,2$ Дж ($W_{a2}=1,28 \cdot 10^{-3}$ м³; $p_1 = 10$ МПа), $E_{a3} = 53,1$ Дж ($W_{a3}=1,5 \cdot 10^{-3}$ м³; $p_1 = 10$ МПа) і $E_{a4} = 85,8$ Дж ($W_{a4} = 2,0 \cdot 10^{-3}$ м³; $p_1=11$ МПа), на ІВПМ-5Л реалізовувалися основні режими ВУП.

Тривалість процесу ВУП встановлювалася 3 с, 4 с, 5 с і 7 с. Ефективність кожного з режимів, у залежності від тривалості навантаження, оцінювалася за результатами вимірювань середньої щільності та відносної нерівнощільності трьох «еталонних» зразків з даного порошкового матеріалу, а також знаходження їх середньоарифметичних значень. Середня щільність зразків визначалася безпосередньо після їх витягування з прес-форми. Для визначення відносної нерівнощільності кожен «еталонний» зразок, попередньо витриманий у сушильній шафі при температурі 100 °С протягом 16...18 годин, знову піддавався вимірюванню середньої щільності, а потім розділявся на три приблизно рівні за висотою частини. Об'єм даних частин визначався гідростатичним зважуванням. При розрахунку відносної нерівнощільності вибиралося максимальне значення $|\rho_i - \rho_{cp}|$ абсолютного відхилення середньої щільності висушеного зразка [147].

Шляхом регулювання величини енергії E_a у межах конкретного режиму ВУП можна забезпечити зменшення або збільшення середньої щільності «еталонного» зразка з будь-якого вказаного порошкового матеріалу, до його недопресовування (Н) або перепресовування (П). Для постійної величини

енергії E_a збільшення тривалості процесу ВУП дозволяє збільшувати середню щільність «еталонного» зразка тільки до визначеної межі, вище якої середня щільність зразка практично залишається незмінною, а якість помітно знижується в результаті перепресовування і руйнування. Результати експериментальних досліджень порошкових матеріалів М1 та М2 представленні в таблиці 6.1

Таблиця 6.1 – Результати експериментальних досліджень заготовок на ІВПМ (М1, М2 – ВУП – І, ІІ, ІІІ)

М1 (мінеральний порошок НЕФ; вологість 13%; зв'язка жирова 3,2%)					М2 (мінеральний порошок НЕФ; вологість 2%; зв'язка відсутня)				
p=0,12 МПа					p=0,12 МПа				
Енергія (Дж)	E=3 4,2	E=48, 2	E=53, 1	E=85, 8	Енергія (Дж)	E=34, 2	E=48 ,2	E=53 ,1	E=85 ,8
Частота імпульсу (Гц)	f=1 3,6	f=11, 8	f=11, 1	f=8,2	Частота імпульсу (Гц)	f=13, 6	f=11, 8	f=11, 1	f=8,2
Щільність – $\rho_{\text{ср.}}$ (г/см ³)	2,13	2,3	2,3	2,49	Щільність – $\rho_{\text{ср.}}$ (г/см ³)	1,7	2,1	2,1	2,2
Нерівнощільність – ε_p (%)	2,1	4	3,9	8,2	Нерівнощільність – ε_p (%)	3,2	2,5	2,8	2,9
$\rho_{\text{ср.}}$	2,22	2,35	2,38	2,58	$\rho_{\text{ср.}}$	1,85	2,12	2,15	2,29
ε_p (%)	2,2	5,4	5,3	7,9	ε_p (%)	4,1	2,9	3,4	3,4
$\rho_{\text{ср.}}$	2,35	2,32	2,4	2,6	$\rho_{\text{ср.}}$	1,81	2,21	2,2	2,3
ε_p (%)	2,2	7,2	8,1	9,3	ε_p (%)	3,8	8,2	7,6	7,7
$\rho_{\text{ср.}}$	2,3	2,25	2,29	2,48	$\rho_{\text{ср.}}$	1,78	2,16	2,23	2,26
ε_p (%)	5,1	9,3	8,8	10,2	ε_p (%)	7,8	7,9	8	8,1

Продовження таблиці 6.1

M1 (мінеральний порошок НЕФ; вологість 13%; зв'язка жирова 3,2%)					M2 (мінеральний порошок НЕФ; вологість 2%; зв'язка відсутня)				
p=0,15 МПа					p=0,15 МПа				
Енергія (Дж)	E=34,2	E=48,2	E=53,1	E=85,8	Енергія (Дж)	E=34,2	E=48,2	E=53,1	E=85,8
Частота імпульсу (Гц)	f=21,6	f=17,2	f=16,	f=14,3	Частота імпульсу (Гц)	f=21,6	f=17,2	f=16,6	f=14,3
Щільність – $\rho_{\text{ср.}}$ (г/см ³)	2,2	2,38	2,35	2,48	Щільність – $\rho_{\text{ср.}}$ (г/см ³)	1,8	1,78	1,76	1,98
Нерівнощільність – ε_p (%)	2,3	5,2	4,9	7,8	Нерівнощільність – ε_p (%)	1	4,9	5,1	10
$\rho_{\text{ср.}}$	2,19	2,45	2,51	2,71	$\rho_{\text{ср.}}$	1,79	2,1	2,04	2,21
ε_p (%)	3,8	4,7	5	8	ε_p (%)	3,8	6,8	5,3	9,7
$\rho_{\text{ср.}}$	2,27	2,44	2,49	2,67	$\rho_{\text{ср.}}$	1,83	2,1	2,16	2,3
ε_p (%)	3,6	4,8	5,2	1	ε_p (%)	4,1	1	1	1
$\rho_{\text{ср.}}$	2,33	2,38	2,4	2,83	$\rho_{\text{ср.}}$	1,8	2,22	2,15	2,3
ε_p (%)	5,2	5,1	6	1	ε_p (%)	1	1	1	10,8
M1 (мінеральний порошок НЕФ; вологість 13%; зв'язка жирова 3,2%)					M2 (мінеральний порошок НЕФ; вологість 2%; зв'язка відсутня)				
p=0,13 МПа					p=0,13 МПа				
Енергія (Дж)	E=34,2	E=48,2	E=53,1	E=85,8	Енергія (Дж)	E=34,2	E=48,2	E=53,1	E=85,8
Частота імпульсу (Гц)	f=25,1	f=22,2	f=21,5	f=17,3	Частота імпульсу (Гц)	f=25,1	f=22,2	f=21,5	f=17,3
Щільність – $\rho_{\text{ср.}}$ (г/см ³)	2,11	2,41	2,38	2,58	Щільність – $\rho_{\text{ср.}}$ (г/см ³)	2,13	2,29	2,25	2,41
Нерівнощільність – ε_p (%)	3,8	6,7	4,7	11	Нерівнощільність – ε_p (%)	3,9	6,1	5,1	1
$\rho_{\text{ср.}}$	2,08	2,63	2,51	2,63	$\rho_{\text{ср.}}$	2,13	2,28	2,25	2,38
ε_p (%)	2,9	5,9	1	13	ε_p (%)	3,6	6	4,8	6,9
$\rho_{\text{ср.}}$	2,16	2,6	2,6	2,57	$\rho_{\text{ср.}}$	2,16	2,35	2,31	2,43
ε_p (%)	4	8,1	6,5	1	ε_p (%)	3,6	3,9	4	7

$\rho_{cp.}$	2,21	2,63	2,5	2,55	$\rho_{cp.}$	2,21	2,33	2,3	2,37
$\varepsilon_p(\%)$	6,1	8,9	1	2	$\varepsilon_p(\%)$	4	3,9	4,3	1

Таблиця 6.2 – Результати експериментальних досліджень заготовок на ІВПМ (М3, М4) – ВУП – І, ІІ, ІІІ)

М3 (карбід кремнію зелений №4, №10, №12, М28-80%; бакеліт рідкий-10%; кокс нафтовий-10%)					М4 (вогнетривкий шамот; вологість 13,8%; зв'язка цегляна 31,2%)				
p=0,12 МПа					p=0,12 МПа				
Енергія (Дж)	E=34,2	E=48,2	E=53,1	E=85,8	Енергія (Дж)	E=34,2		E=53,1	E=85,8
Частота імпульсу (Гц)	f=13,6	f=11,8	f=11,1	f=8,2	Частота імпульсу (Гц)	f=13,6	f=11,8	f=11,1	f=8,2
Щільність – $\rho_{\text{ср.}}$, (г/см ³)	1,9	2,1	2,06	2,16	Щільність – $\rho_{\text{ср.}}$, (г/см ³)	2,3	2,45	2,41	2,6
Нерівнощільність – ε_p (%)	3,2	8,2	7,9	10	Нерівнощільність – ε_p (%)	2,9	4,1	3,8	3,2
$\rho_{\text{ср.}}$	1,93	2,08	2,05	2,22	$\rho_{\text{ср.}}$	2,29	2,49	2,43	2,6
ε_p (%)	2,8	6,9	7	10	ε_p (%)	3,1	3	2,8	3,3
$\rho_{\text{ср.}}$	2	2,01	2,05	2,2	$\rho_{\text{ср.}}$	2,3	2,46	2,5	2,55
ε_p (%)	3	6,9	6,5	10	ε_p (%)	3,8	2,9	3,1	4
$\rho_{\text{ср.}}$	2	1,99	2,1	2,22	$\rho_{\text{ср.}}$	2,35	2,51	2,49	2,61
ε_p (%)	5,2	8,1	10	12	ε_p (%)	4,3	5	5	5,4
М3 (карбід кремнію зелений №4, №10, №12, М28-80%; бакеліт рідкий-10%; кокс нафтовий-10%)					М4 (вогнетривкий шамот; вологість 13,8%; зв'язка цегляна 31,2%)				
p=0,15 МПа					p=0,15 МПа				
Енергія (Дж)	E=34,2	E=48,2	E=53,1	E=85,8	Енергія (Дж)	E=34,2	E=48,2	E=53,1	E=85,8
Частота імпульсу (Гц)	f=21,6	f=17,2	f=16,6	f=14,3	Частота імпульсу (Гц)	f=21,6	f=17,2	f=16,6	f=14,3
Щільність – $\rho_{\text{ср.}}$, (г/см ³)	2,4	2,16	2,12	2,23	Щільність – $\rho_{\text{ср.}}$, (г/см ³)	2,39	2,55	2,5	2,71
Нерівнощільність – ε_p (%)	7,2	8,3	7,9	1	Нерівнощільність – ε_p (%)	4,1	4	4,7	5
$\rho_{\text{ср.}}$	2,04	2,15	2,1	2,25	$\rho_{\text{ср.}}$	2,45	2,56	2,56	2,8
ε_p (%)	6,7	8	7,9	1	ε_p (%)	3,9	5,1	4	5,4
$\rho_{\text{ср.}}$	2,05	2,15	2,15	2,20	$\rho_{\text{ср.}}$	2,43	2,6	2,58	2,93

$\varepsilon_p(\%)$	8	8	8,4	1	$\varepsilon_p(\%)$	4,2	4,9	4,7	5,3
$\rho_{cp.}$	2	2,2	2,19	2,28	$\rho_{cp.}$	2,48	2,6	2,63	2,87
$\varepsilon_p(\%)$	7,9	1	9,1	1	$\varepsilon_p(\%)$	4,1	4,9	5,5	6

Продовження таблиці 6.2

М3 (карбід кремнію зелений №4, №10, №12, М28-80%; бакеліт рідкий-10%; кокс нафтовий-10%)					М4 (вогнетривкий шамот; вологість 13,8%; зв'язка цегляна 31,2%)				
p=0,13 МПа					p=0,13 МПа				
Енергія (Дж)	E=34, 2	E=48, 2	E=53, 1	E=85, 8	Енергія (Дж)	E=34, 2	E=48, 2	E=53, 1	E=85, 8
Частота імпульсу (Гц)	f=25, 1	f=22, 2	f=21, 5	f=17, 3	Частота імпульсу (Гц)	f=25, 1	f=22, 2	f=21, 5	f=17, 3
Щільність – $\rho_{\text{ср.}}$ (г/см ³)	1,78	1,93	1,95	2,06	Щільність – $\rho_{\text{ср.}}$ (г/см ³)	2,19	2,4	3,39	2,43
Нерівнощільність – ε_p (%)	4,2	5,8	5,8	9,5	Нерівнощільність – ε_p (%)	1	4,3	3,9	6,1
$\rho_{\text{ср.}}$	1,8	1,88	1,91	2,03	$\rho_{\text{ср.}}$	2,31	2,46	2,47	2,55
ε_p (%)	4	5,7	5,8	9,1	ε_p (%)	5,3	11	9,6	1
$\rho_{\text{ср.}}$	1,79	1,88	2	2,13	$\rho_{\text{ср.}}$	2,27	2,51	2,47	2,52
ε_p (%)	3,9	5,8	6	8,7	ε_p (%)	5,6	10	10	12
$\rho_{\text{ср.}}$	1,79	2,04	2,05	2,16	$\rho_{\text{ср.}}$	2,33	2,57	2,63	2,65
ε_p (%)	4,3	6,3	6,7	1	ε_p (%)	4,2	1	1	12

З експериментальних досліджень для кожного типу порошкового матеріалу можна вказати найефективніший основний режим ВУП.

Для М1 і М2 – ВУП-1; для М3 – ВУП-III; для М4 – ВУП-II, а для конкретного зразка з заданого матеріалу – найбільш раціональне співвідношення величин енергій $[E_a]$ та $[E_{\text{повн}}]$, при яких він досягає максимальної середньої щільності в разі мінімальної відносної нерівнощільності за об'ємом і відсутності на його поверхні ознак пере- і недопресовувань.

Виходячи з фізико-механічних характеристик кожного порошкового матеріалу можна обґрунтувати вибір режиму ВУП. У розглянутих випадках режими ВУП-I і ВУП-II, що забезпечують повне розвантаження заготовки,

бажано застосовувати для формоутворення порошкових матеріалів із пластифікатором та зв'язкою, а режим ВУП-III – для сухих порошкових матеріалів.

Наведені рекомендації можна обґрунтувати з позиції резонансно-структурної теорії процесів ВУП порошкових матеріалів: під час повернення контейнера прес-форми з заготовкою із сухого порошкового матеріалу у вихідне положення відбувається зіткнення столу зі станиною й у заготовці поширюється ударна хвиля стиску, яка переходить в хвилю розтягання (верхній кінець заготовки розвантажений); енергія ударної хвилі концентрується в зонах контактів частинок основи і при недостатніх силах зчеплення викликає їх руйнування, що супроводжується розпушенням заготовки; додаткове статичне притискання рухомої поперечини з інерційним вантажем до заготовки (режим ВУП-III) створює в останній поле напруг стиску, яке компенсує можливе руйнування (розпушення) структури скелета заготовки. Режими ВУП-I і ВУП-II близькі між собою і тому мають приблизно рівні технологічні можливості, але з точки зору ефективності реалізації даних режимів на ІВПМ, перевагу варто віддати режиму ВУП-I, як стійкішому, що допускає здійснення регулювання в певних межах параметрів навантаження. Максимальна допустима частота f_p робочих ходів ІВПМ, що відповідає частоті спрацювання віброзбуджувача ГП, визначається в залежності від типу порошкового матеріалу. Зміну частоти робочих ходів ІВПМ-5Л для постійної величини енергії E_a в межах вибраного основного режиму допускають тільки ВУП-I і ВУП-III. Але, як показали експерименти, зберігаючи відповідні значення енергій $[E_a]$ та $[E_{повн}]$ така зміна частоти робочих ходів не впливає на середню щільність і відносну нерівнощільність «еталонних» зразків [147].

Згідно з резонансно-структурною теорією, кожній заготовці з порошкового матеріалу, в залежності від її геометричних (висота) та фізико-механічних (середня щільність, динамічний модуль пружності) параметрів у початковий і кінцевий моменти процесу формоутворення способом ВУП

повинна відповідати визначена тривалість τ_0 короткочасного імпульсу примусової сили зовнішнього впливу. Для випадків реалізації способів ВУП на ІВПМ таким короткочасним імпульсом сили є імпульс тиску рідини в порожнині приводного гідроциліндра. Його тривалість однозначно визначається величиною енергії E_a . Отже, експериментально встановлена наявність для кожного «еталонного» зразка раціональної величини енергії $[E_a]$, що підтверджує зазначене положення резонансно-структурної теорії.

6.3 Аналіз експериментальних даних

Управління обчислювальним процесом є досить складним процесом, що охоплює процедури, пов'язані з обробкою інформації, яка отримується при експерименті, з розрахунком показників якості заготовки, з прийняттям рішення про оцінку ефективності, прогнозуванням, моделюванням та оптимізацією.

В найзагальнішому вигляді схема для дослідження процесу формоутворення (рис. 6.2) з використанням ЕОМ містить ІВПМ як ОД, комплект вимірювальних перетворювачів, аналогово-цифрові перетворювачі (АЦП) [103, 132].

Введення даних, реєстрація і спостереження за ходом випробування проходять за допомогою клавіатури, графічного дисплею. Для здійснення нижче вказаних процедур:

1. Формування вхідних даних:

- розрахунок робочих навантажень;
- розрахунок законів розподілу;
- формування комбінацій значень досліджуваних параметрів;
- керування експериментом.



Рисунок 6.2 – Структурна схема обробки вхідної інформації за допомогою ЕОМ

2. Обробки результатів випробувань:

- розрахунок регламентованих параметрів;
- статистична обробка результатів N випробувань;
- розрахунок функцій та законів розподілу вихідних параметрів;
- оцінювання ефективності прийняття рішення.

3. Прогнозування втрат ефективності при виникненні несправностей:

- визначення закономірностей зносу та експлуатаційних факторів.

4. Розрахунку надійності:

- оцінювання параметрів областей станів ІВПМ;
- розрахунок дієздатності для кожного з параметрів;
- оцінювання основних факторів, які впливають на якість, ефективність та надійність ІВПМ.

5. Оптимізації параметрів ІВПМ:

- оптимізація технологічних допусків на геометричні параметри ІВПМ;
- оптимізація режимів ВУП;
- оцінювання ефективності підвищення стійкості механізмів ІВПМ
- розробка прикладних програм повного циклу проведення процедури прийняття рішення при дослідженні ІВПМ.

Формування і дослідження вхідних даних, що охоплює створення банку вхідної інформації, розрахунок законів розподілу варіації параметрів і вибір їхніх значень для формування дослідження, оцінювання ефективності прийняття рішення є одними з основних етапів.

Основним джерелом інформації для розрахунку і проведення тих або інших дій на ІВПМ служить технологічний процес [102].

6.4 Обробка результатів за допомогою прикладних програм

На основі проведених експериментальних досліджень пресування чотирьох заготовок «еталонних» зразків з різних матеріалів на ІВПМ-5Л було отримано числову базу даних якісних характеристик досліджуваного процесу.

Для отриманих в результаті експерименту поверхонь відгуку з метою отримання комплексних показників якості вихідних виробів був використаний статистичний метод аналізу головних компонент. Складають серію лінійних комбінацій всіх відгуків, які називаються головними компонентами. При цьому кожна лінійна комбінація містить якомога більшу частину дисперсії або варіації всіх відгуків, і в той же час вона лінійно незалежна від усіх інших головних компонент.

Також під час обробки експериментальних даних використовуємо методи квантильного розмаху мод, які дають найбільш наочне уявлення про результати експерименту, дозволяють краще зрозуміти фізичну сутність досліджуваного процесу, виявити загальний характер функціональної

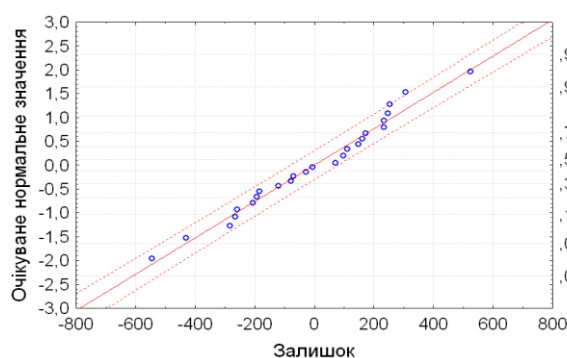
залежності досліджуваних змінних величин, встановити наявність екстремумів функції. При цьому отримані точки на графіку з'єднуємо плавною лінією так, щоб вона, за змогою проходила щонайближче до всіх екстремальних точок, оскільки більшість функцій є плавний характер.

Для оцінювання адекватності отриманих графічних інтерпретацій використаємо аналітичні та графічні методи аналізу. Гіпотезу про відтворюваність дослідів перевіряємо за допомогою критерію Кохрена, який показує, що на 95% рівні довірчої ймовірності дисперсії однорідні, тому що розрахункове значення критерію менше табличного. Перевірку значущості коефіцієнтів регресії здійснюємо за t-критерієм Стюдента. Оцінювання адекватності отриманих математичних моделей проводимо за критерієм Фішера, який показав, що розрахункові значення значно нижчі критичних, відповідно, отримані регресійні моделі адекватно описують поверхні відгуку, та їх можна використовувати з метою оптимізації досліджуваних процесів. Графічний метод полягає в аналізі залишків на нормальній площині ймовірності, який показав достатньо близьке їхнє розташування до прямої, що відповідає нормальному закону розподілу. Тому гіпотезу про нормальний розподіл помилок вважаємо адекватною.

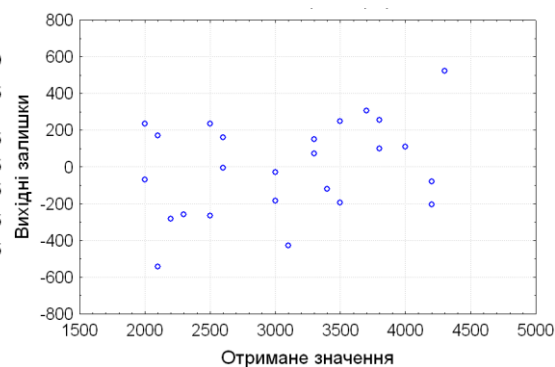
Також аналіз графічної залежності розподілу вихідних залишків від прогнозованих значень показав, що вони мають хаотичний характер розташування на площині, а в їхній поведінці не спостерігається будь-якої закономірності (рис. 6.3). Ґрунтуючись на згаданих спостереженнях, можна зробити висновок, що залишки не мають кореляційних зв'язків між собою, тобто регресійна модель достатньою мірою описує взаємозв'язок експериментальних величин та є адекватною.

Графічна інтерпретація (рис. 6.4 – 6.7) отриманих значень методом тернарних графіків в статистичному середовищі Statistica 10.1 засвідчила, що для кожного типу порошкового матеріалу найефективнішими режимами віброударного пресування є: для мінеральних порошків НЕФ (вологість 13%, зв'язка жирова 3,2 %) та мінеральних порошків НЕФ (вологість 2%, зв'язка

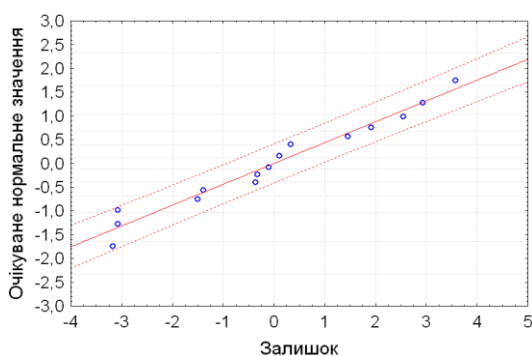
відсутня) – ВУП-1; карбіду кремнію зел. (№ 4, 10, 12 М28 – 80%, бакеліт 10%, кокс 10%) – ВУП-III; вогнетривкого шамоту (вологість 13,8, зв'язка глиняна 31,2%) – ВУП-II;



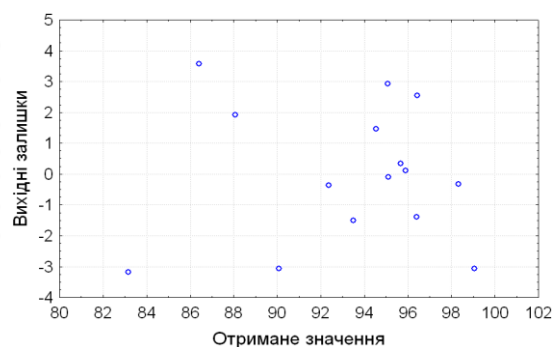
а)



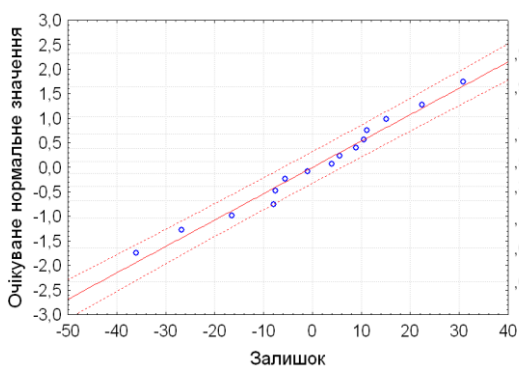
б)



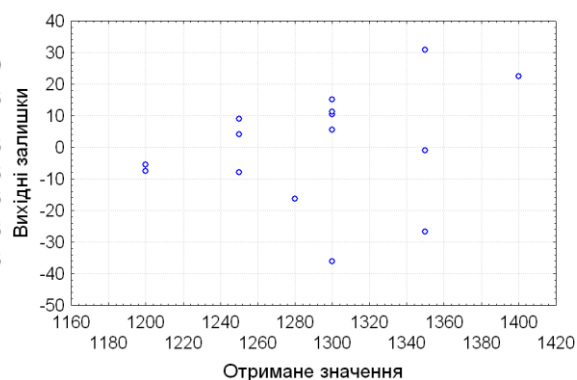
в)



г)

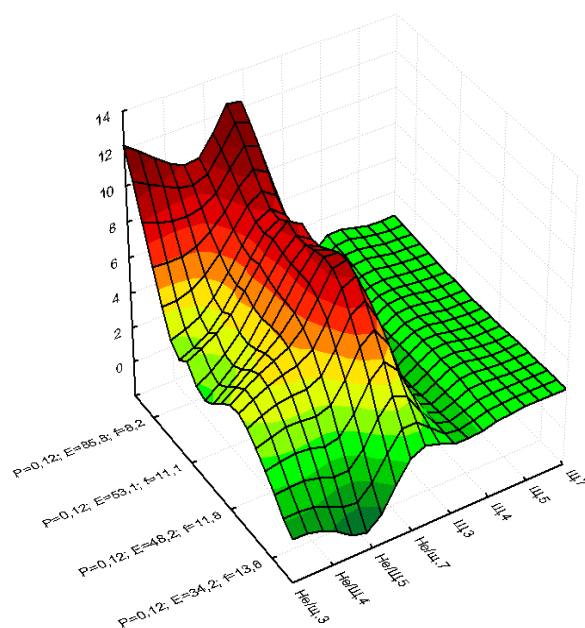


д)

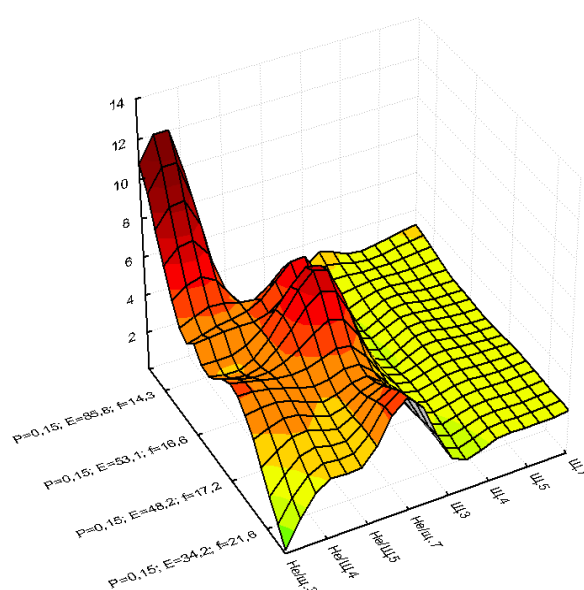


е)

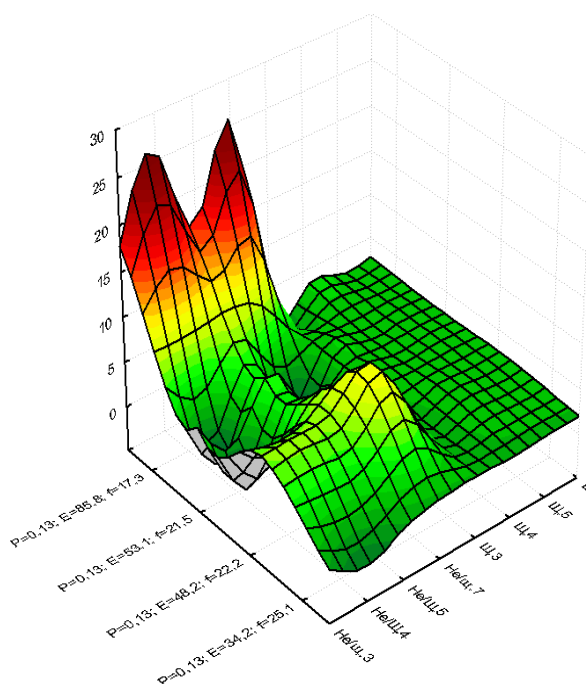
Рисунок 6.3 – Графічна інтерпретація розподілу ймовірнісних залишків відносно отриманих значень



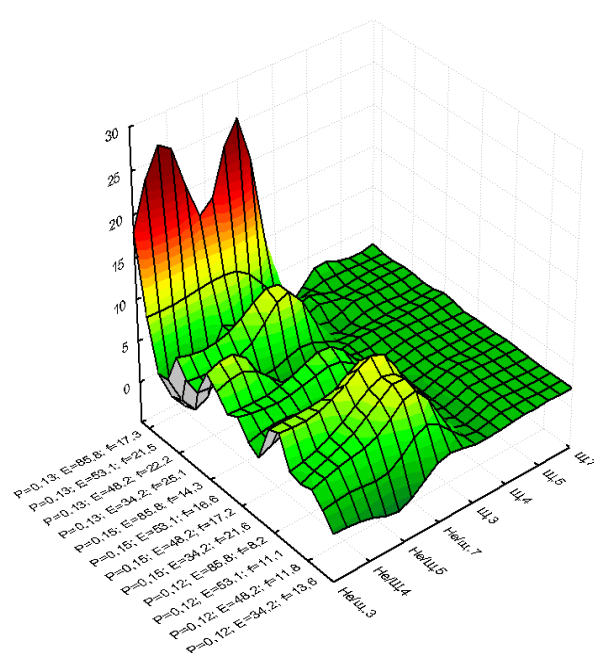
а)



б)

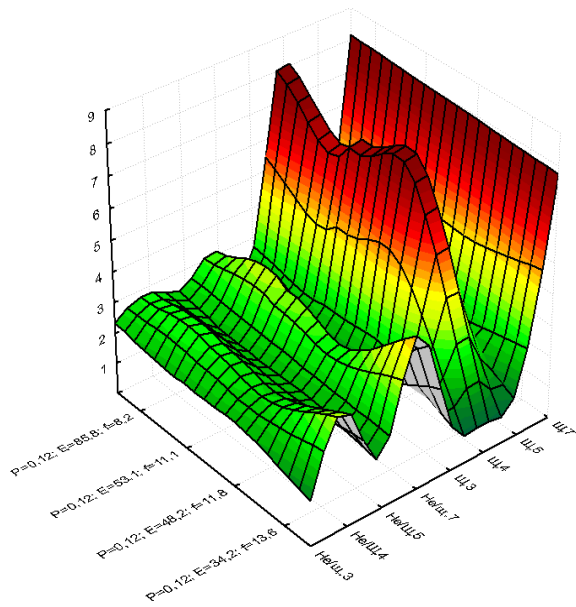


в)

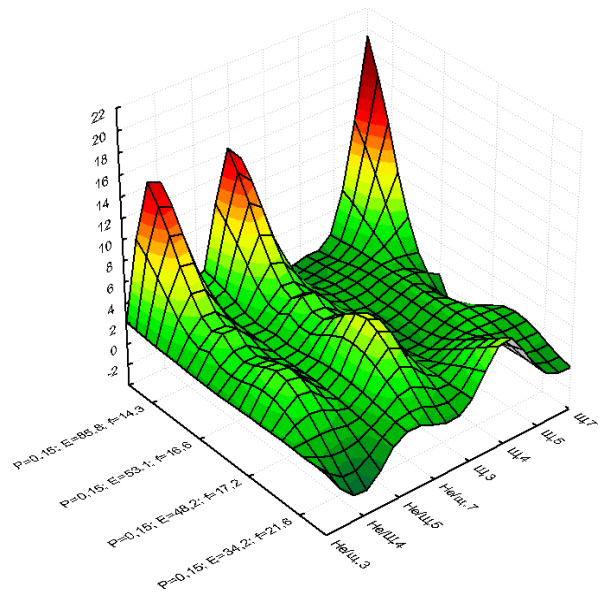


г)

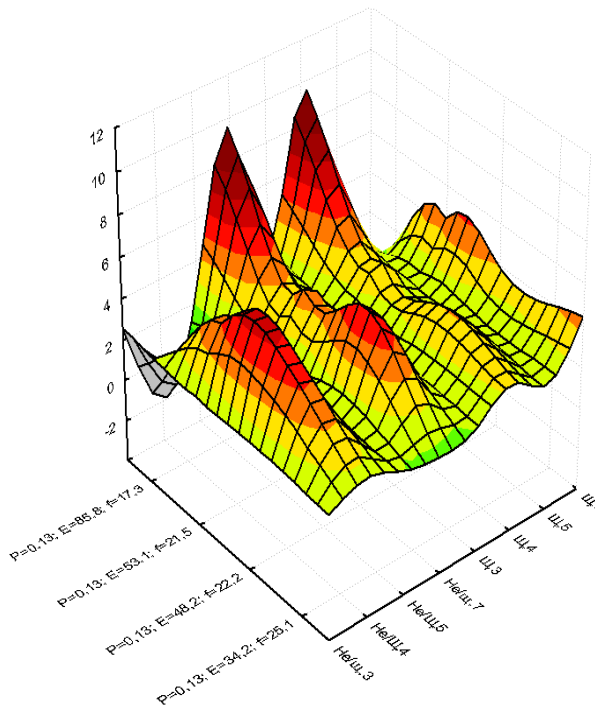
Рисунок 6.4 – Аналіз якісних характеристик оброблюваних мінеральних порошків НЕФ (вологість 13%, зв'язка жирова 3,2 %) залежності від зміни технологічних параметрів: для тиску $P=0,12$; для тиску $P=0,15$; для тиску $P=0,13$; г) комплексний аналіз від зміни тисків



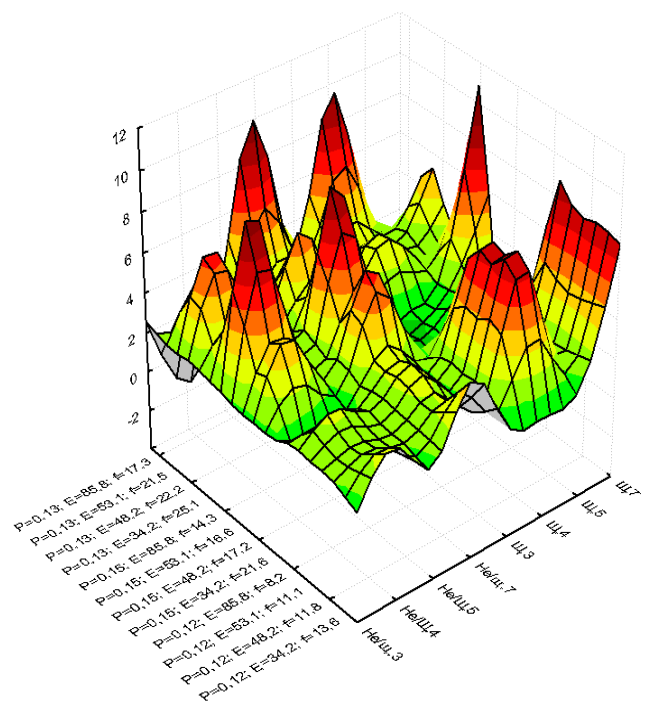
а)



б)

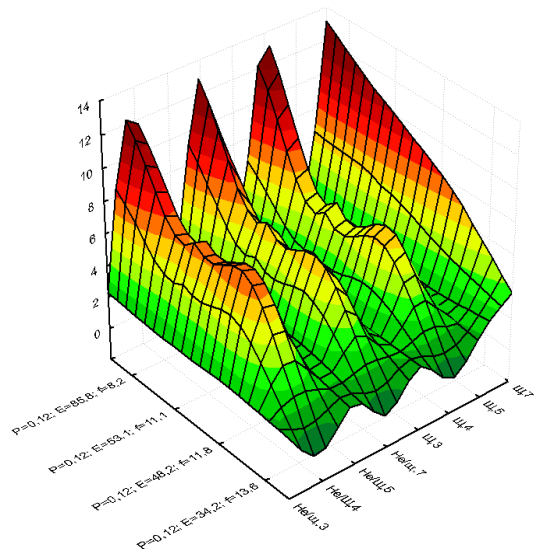


в)

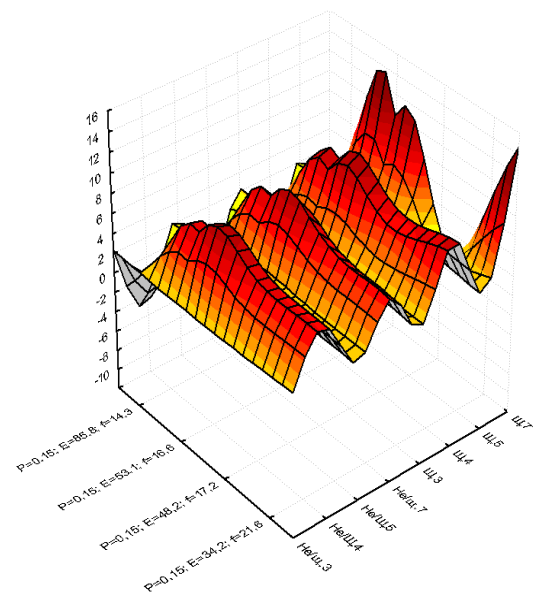


г)

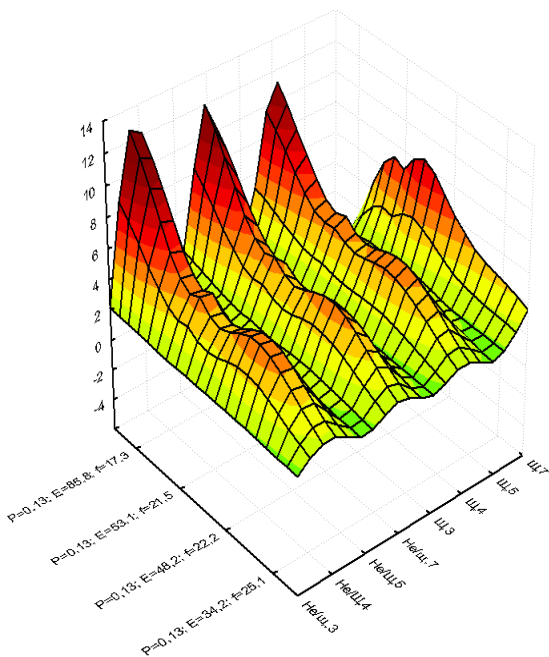
Рисунок 6.5 – Аналіз якісних характеристик оброблюваних мінеральних порошків НЕФ (вологість 2%, зв'язка відсутня) в залежності від зміни технологічних параметрів: а) для тиску $P=0,12$; б) для тиску $P=0,15$; в) для тиску $P=0,13$; г) комплексний аналіз від зміни тисків



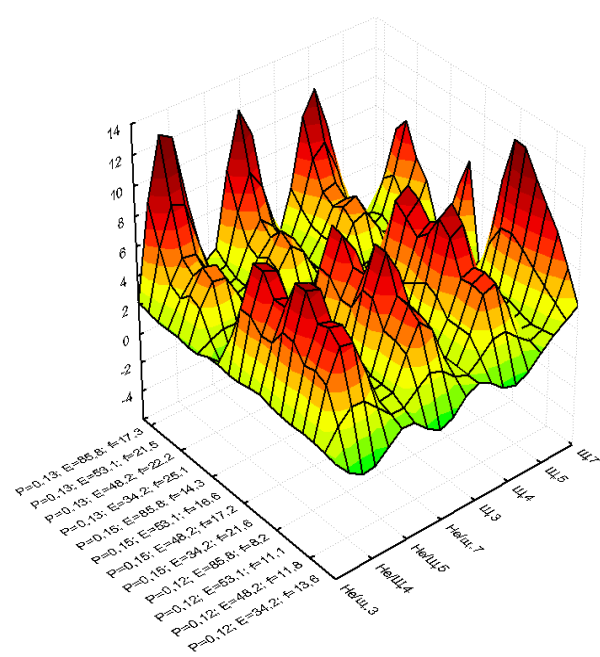
а)



б)

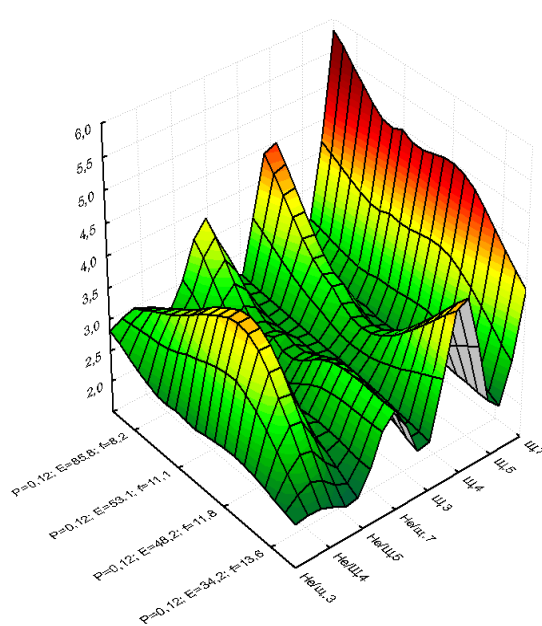


в)

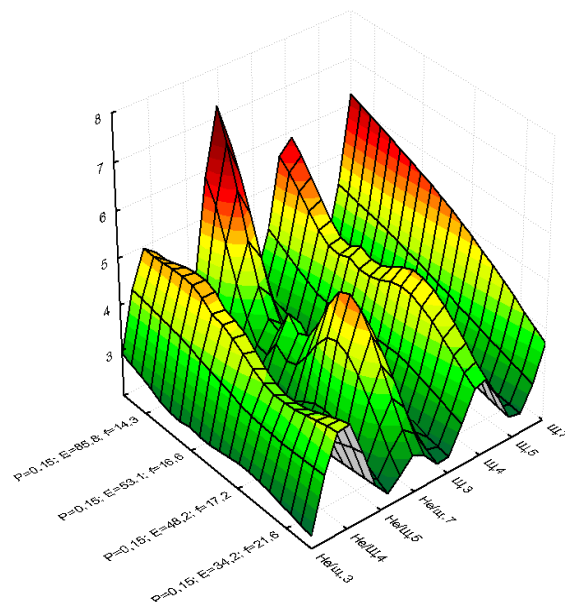


г)

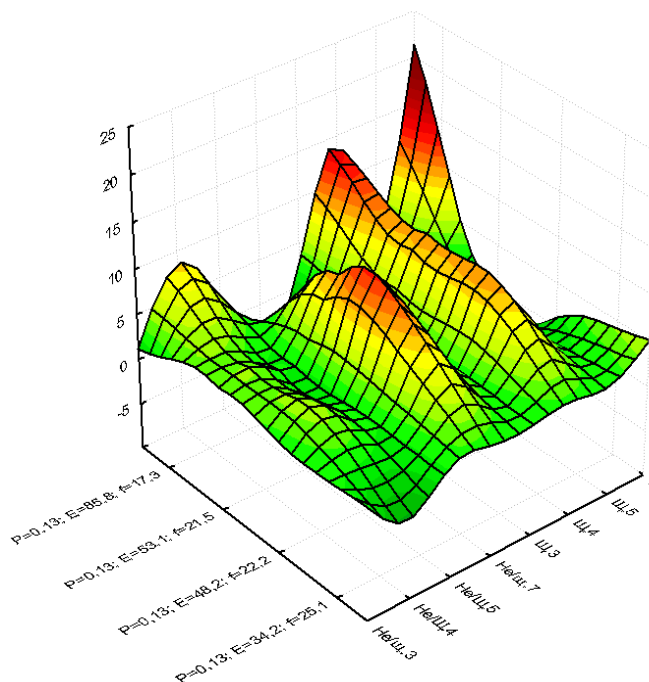
Рисунок 6.6 – Аналіз якісних характеристик оброблюваного карбиду кремнію зел. (№ 4, 10, 12 M28 – 80%, бакеліт 10%, кокс 10%) в залежності від зміни технологічних параметрів: а) для тиску $P=0,12$; б) для тиску $P=0,15$; в) для тиску $P=0,13$; г) комплексний аналіз від зміни тисків



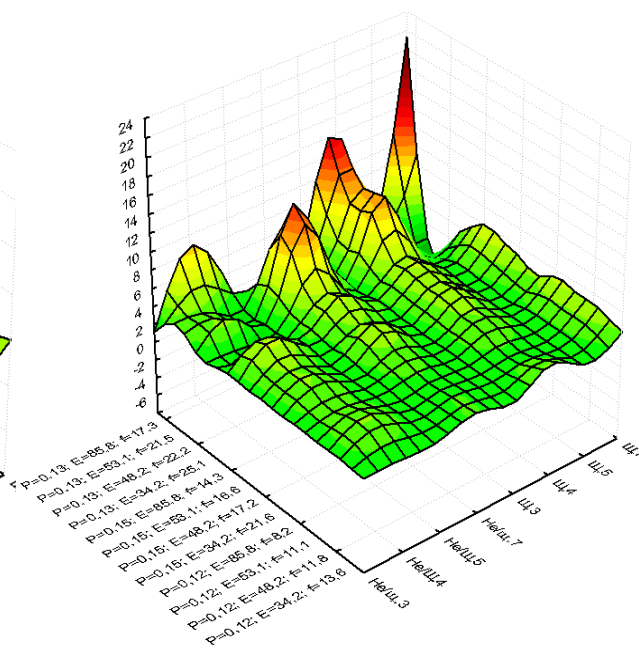
а)



б)



в)



г)

Рисунок 6.7 – Аналіз якісних характеристик оброблюваного вогнетривкого шамоту (вологість 13,8, зв'язка глиняна 31,2%) в залежності від зміни технологічних параметрів: а) для тиску $P=0,12$; б) для тиску $P=0,15$; в) для тиску $P=0,13$; г) комплексний аналіз від зміни тисків

Для оцінювання статистичного розподілу отриманих експериментальних даних було використано метод оцінки квантильного розмаху (рис.4.8, 4.9), що засвідчив концентрацію мінімальних значень для щільності та нерівнощільності вихідних заготовок з досліджуваних матеріалів. Для матеріалу з мінеральних порошків НЕФ (вологість 13%, зв'язка жирова 3,2 %) (рис. 6.8, а) сукупність оптимальних технологічних показників знаходяться в режимі ВУП-1 становлять для щільності матеріалу 2,3 для нерівнощільності 6,5. Оцінювання оброблюваного матеріалу з мінеральних порошків НЕФ (вологість 2%, зв'язка відсутня) дещо виокремлюється в порівнянні з отриманими даними в математичній моделі, а саме відображає доцільність застосування комбінації технологічних режимів ВУП-I, ВУП-II, при яких якісні характеристик набувають значень: у випадку аналізу щільності її мінімальне значення 1,9 спостерігається при ВУП-2, у випадку аналізу нерівнощільності мінімальне значення 2,3 – ВУП-I. Дослідження вихідних зразків сформованих з карбіду кремнію зел. (№ 4, 10, 12 М28–80%, бакеліт 10%, кокс 10%) засвідчило, що оптимальні значення щільності матеріалу 4,7 та нерівнощільності 3,9 спостерігаються при III режимі віброударного пресування. У випадку з оцінюванням якісних характеристик спресованих матеріалів з вогнетривкого шамоту (вологість 13,8, зв'язка глиняна 31,2%) слід відзначити, що мінімальні значення щільності та нерівно щільності, відповідно, 3,8–4,2 та 2,5–2,9 спостерігаються при ВУП-I та ВУП-II.

Аналіз статистичного взаємозв'язку якісних характеристик досліджуваних матеріалів засвідчив, що оптимальними технологічними параметрами обробки матеріалів М1, М2 є тиск 0,12 Па, М3 – 0,15 Па, М4 – 0,13 Па, проте слід відзначити зростання досліджуваних показників щільності та нерівнощільності оброблюваного матеріалу при збільшенні енергетичних характеристик обробки та зменшення частоти технологічного впливу.

Також значення якісних параметрів матеріалу М1 (щільності та нерівнощільності оброблюваного матеріалу) за умови режиму роботи $P=0.12$; $E=85.8$; $f=8.2$ супроводжується значними енерговитратами за умови зниження якісних характеристик.

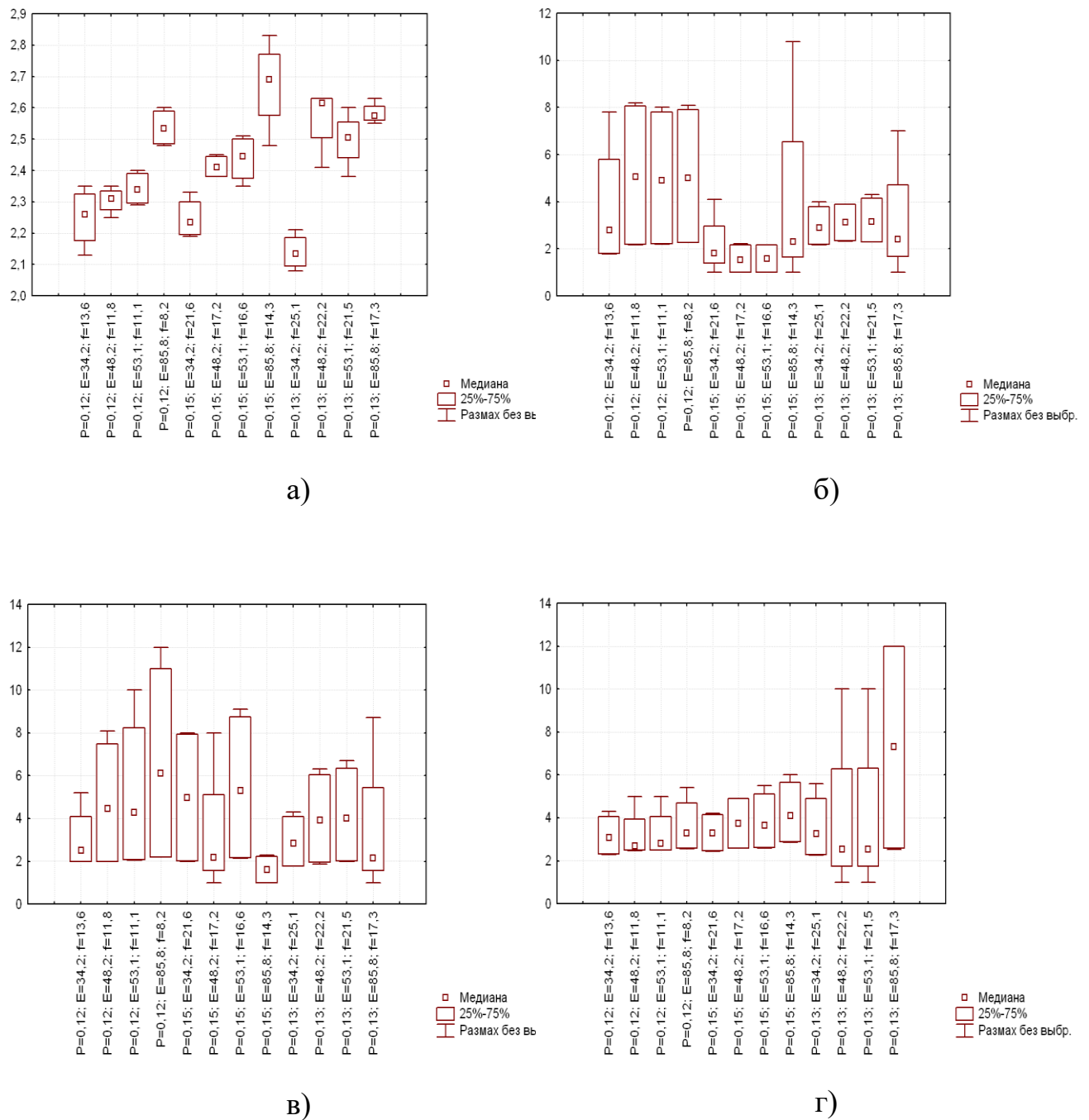
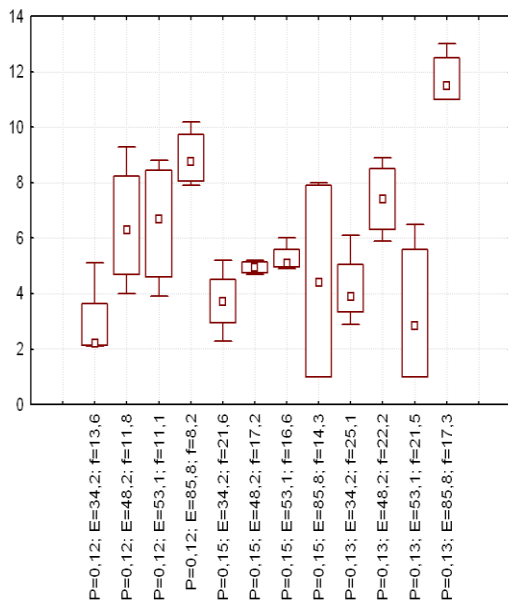
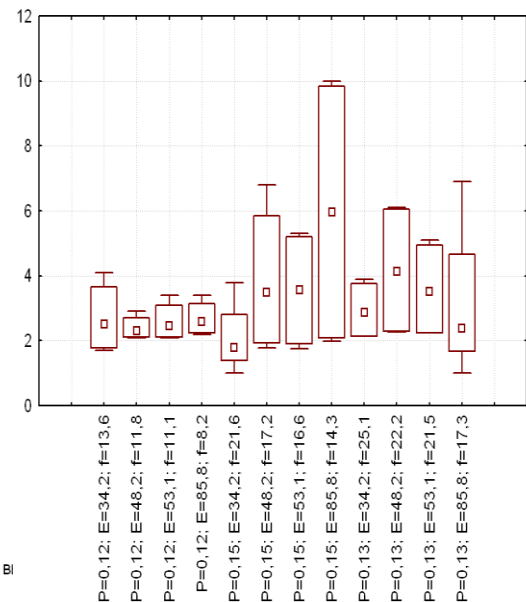


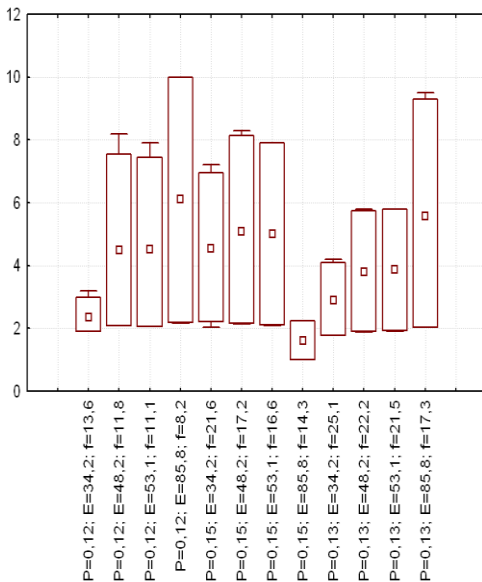
Рисунок 6.8 – Квантиль розмаху для щільності оброблюваних матеріалів залежно від зміни технологічних параметрів: а) – М1; б) – М2; в) – М3; г) – М4



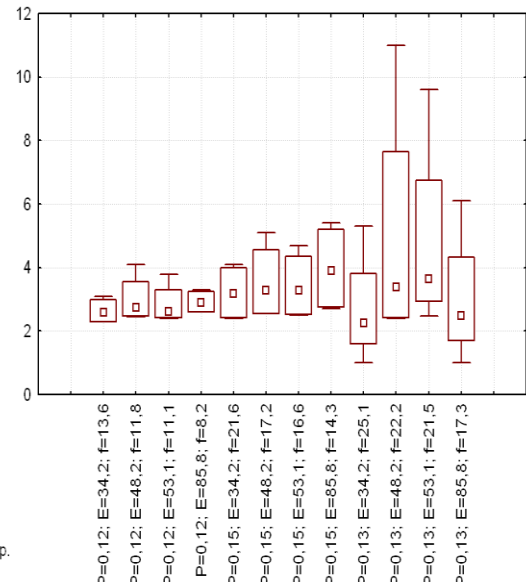
а)



б)



в)



г)

Рисунок 6.9 – Квантиль розмаху нерівнощільності оброблюваних матеріалів залежно від зміни технологічних параметрів: а) – М1; б)– М2; в) – М3; г) – М4

Проведений аналіз засвідчив адекватність розробленого комплексного математичного апарату для оцінювання динамічної зміни щільності та

нерівнощільності отриманих виробів в залежності від зміни робочих режимів обробки, а також встановив доцільність часового обмеження формування кінцевого виробу. На графічній інтерпретації (рис. 6.10, 6.11) залежності щільності та нерівнощільності від технологічних параметрів для оброблюваних матеріалів чітко спостерігається оптимальний час 3 секунди, а подальше його збільшення призводить до значних енергозатрат і як наслідок, – до підвищення собівартості кінцевого виробу за сталих показників якості.

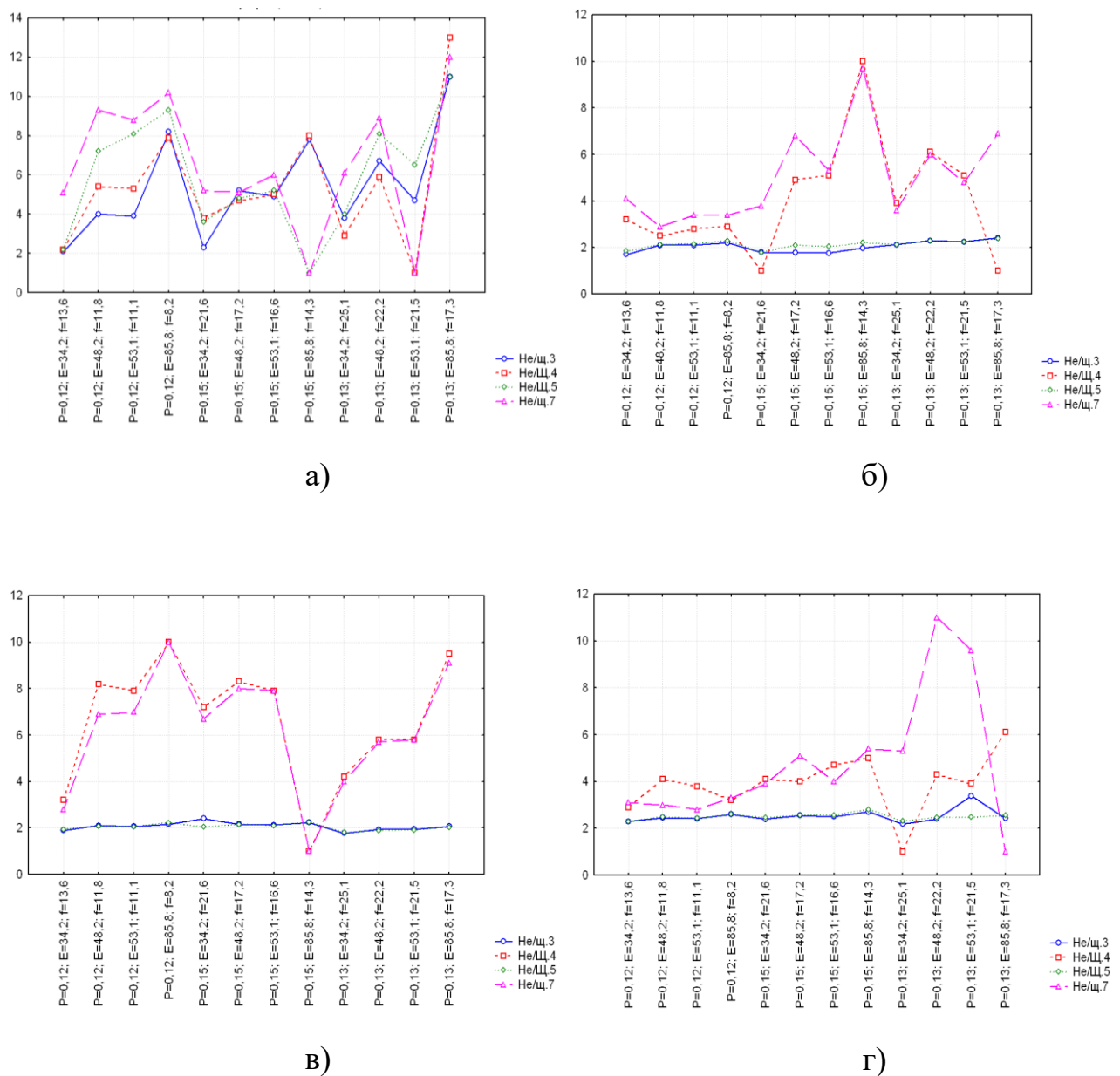
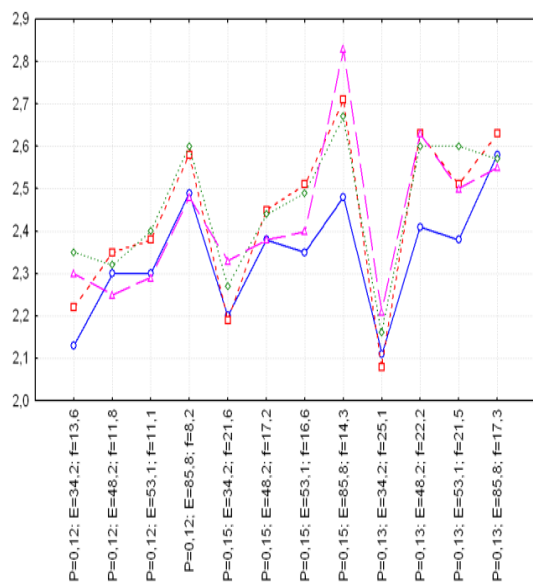
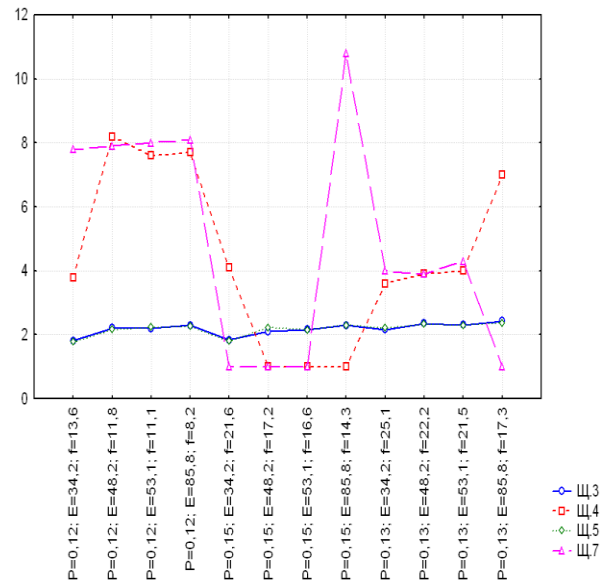


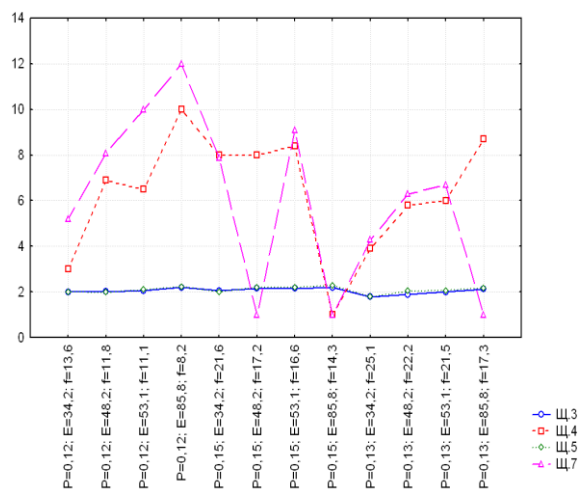
Рис. 6.10 – Залежність нерівнощільності від технологічних параметрів для оброблюваних матеріалів: а) – М1; б) – М2; в) – М3; г) – М4



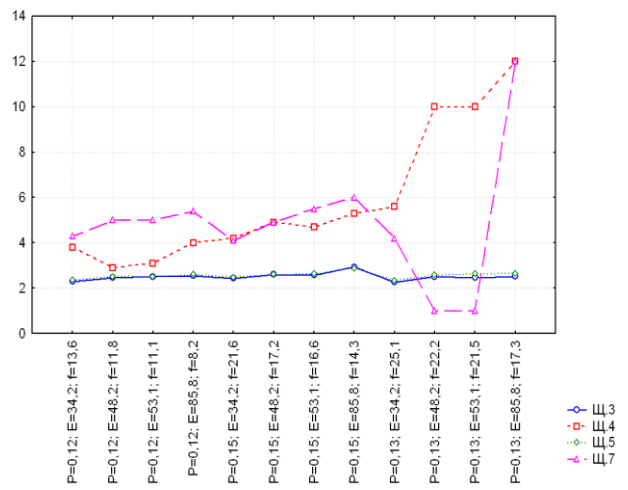
а)



б)



в)



г)

Рисунок 6.11 – Залежність щільності від технологічних параметрів для оброблюваних матеріалів: а) – М1; б) – М2; в) – М3; г) – М4

РОЗДІЛ VII

ВДОСКОНАЛЕННЯ ТЕХНОЛОГІЧНОГО КОМПЛЕКСУ

7.1 Автоматизація розрахунку і проектування технологічного комплексу для віброударного пресування

При аналізі технологічного комплексу (рис. 7.1) джерелом вхідної інформації слугують відомості про оброблюваний об'єкт, які містяться в компоненті підсистеми та передаються у систему II у вигляді логічної функції вибору режиму ВУП. Режим, в свою чергу, визначає робочий процес, з урахуванням параметрів якого проводиться вибір машини конкретного типу (система III) [134, 147].

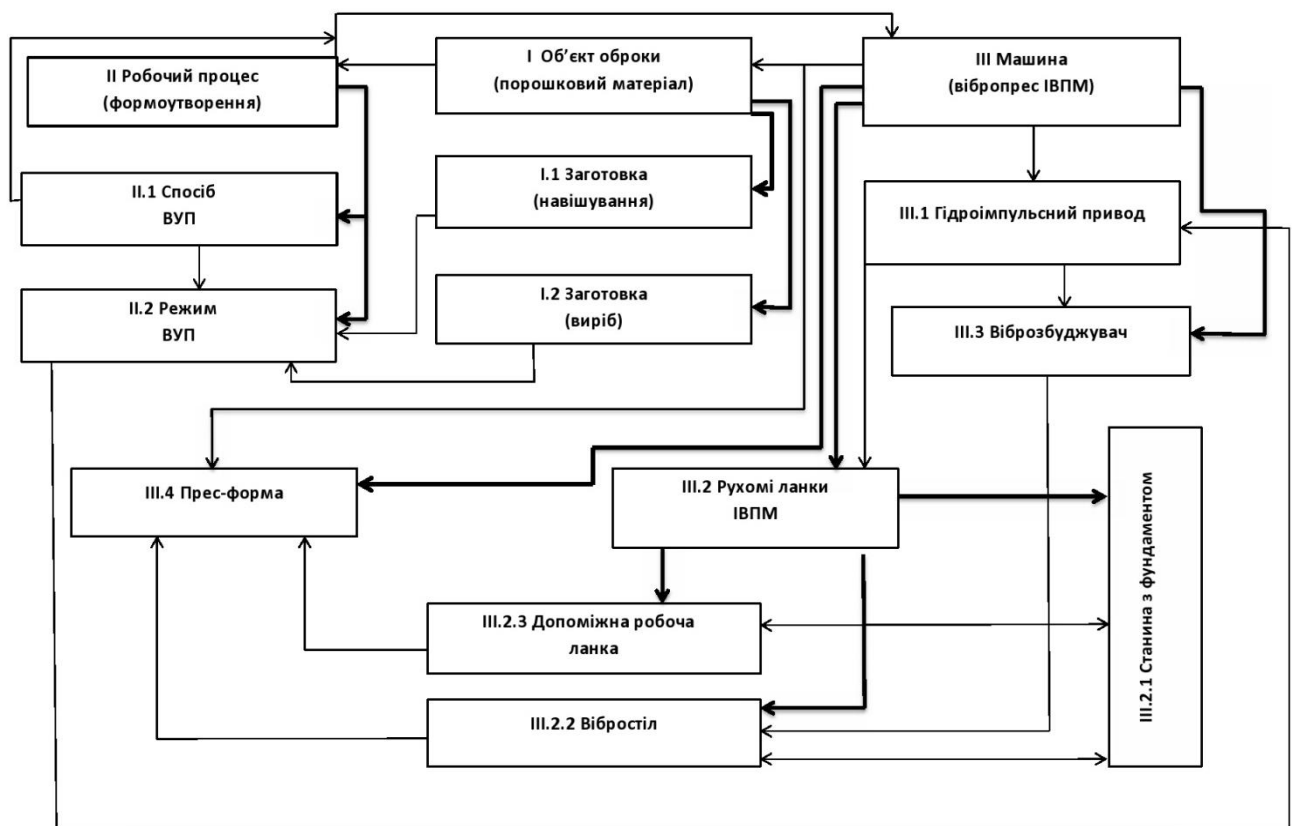


Рисунок 7.1 – Схема структурних та функціональних зв'язків технологічного комплексу на базі ІВПМ

Логічні функції вибору розробляються на основі результатів теоретичних досліджень, методів розрахунку параметрів режимів інерційного навантаження під час ВУП, нових конструкцій ІВПМ, їхніх структурних схем та динамічних моделей, досліджень перехідних процесів взаємодії рухомих ланок ІВПМ [77].

Нами передбачено, що функції можуть бути подані у формі аналітичних залежностей, таблиць і різноманітних банків інформації з ключем для їх розшифрування. Функціональний зв'язок між машиною та об'єктом у вигляді функції силового впливу визначається для заданого проміжку часу, що дозволяє отримати вихідну інформацію, яка так само, як і вхідна, пов'язана з об'єктом обробки, але міститься в складовій компоненті підсистеми І.2, яка відповідає кінцевій заготовці. Функціональний зв'язок між компонентою підсистеми ІІІ.3 та ланкою ІІІ.2.2 має вигляд функції генерування тиску в порожнині робочого циліндра, періодично змінюється в часі [147].

Вихідними даними проектування ІВПМ будуть слугувати параметри, що характеризують кінцеву заготовку. До них належать маса $m_{заг}$, лінійний розмір частинок її матеріалу a , значення середньої щільності заготовки в початковий $\rho_{зо}$ та кінцевий $\rho_{зк}$ моменти ВУП і відповідні їм значення модуля умовної пружності $K_{зо}$, $K_{зк}$, які встановлюються експериментальним шляхом. Початковий стан матеріалу будемо визначати величиною питомого зусилля статичного притискання $P_{уд}$, що вибирається у відповідних межах 0,1–1,0 МПа. Для кінцевої продукції паралелепіпедної форми блок вихідних даних доповнимо значенням площі її відкритої поверхні $S_{заг}$. Використовуючи вихідні дані про кінцеву продукцію, розробимо алгоритм методики розрахунку параметрів її інерційного навантаження під час ВУП (рис. 7.2).

В перелік вихідних даних (блок 1) додатково введемо параметр m_1 , який враховує зведену масу робочої ланки інерційного вібропреса механізму (ІВПМ). Його вибираємо з конструктивних міркувань, і в подальшому він може корегуватись [147].

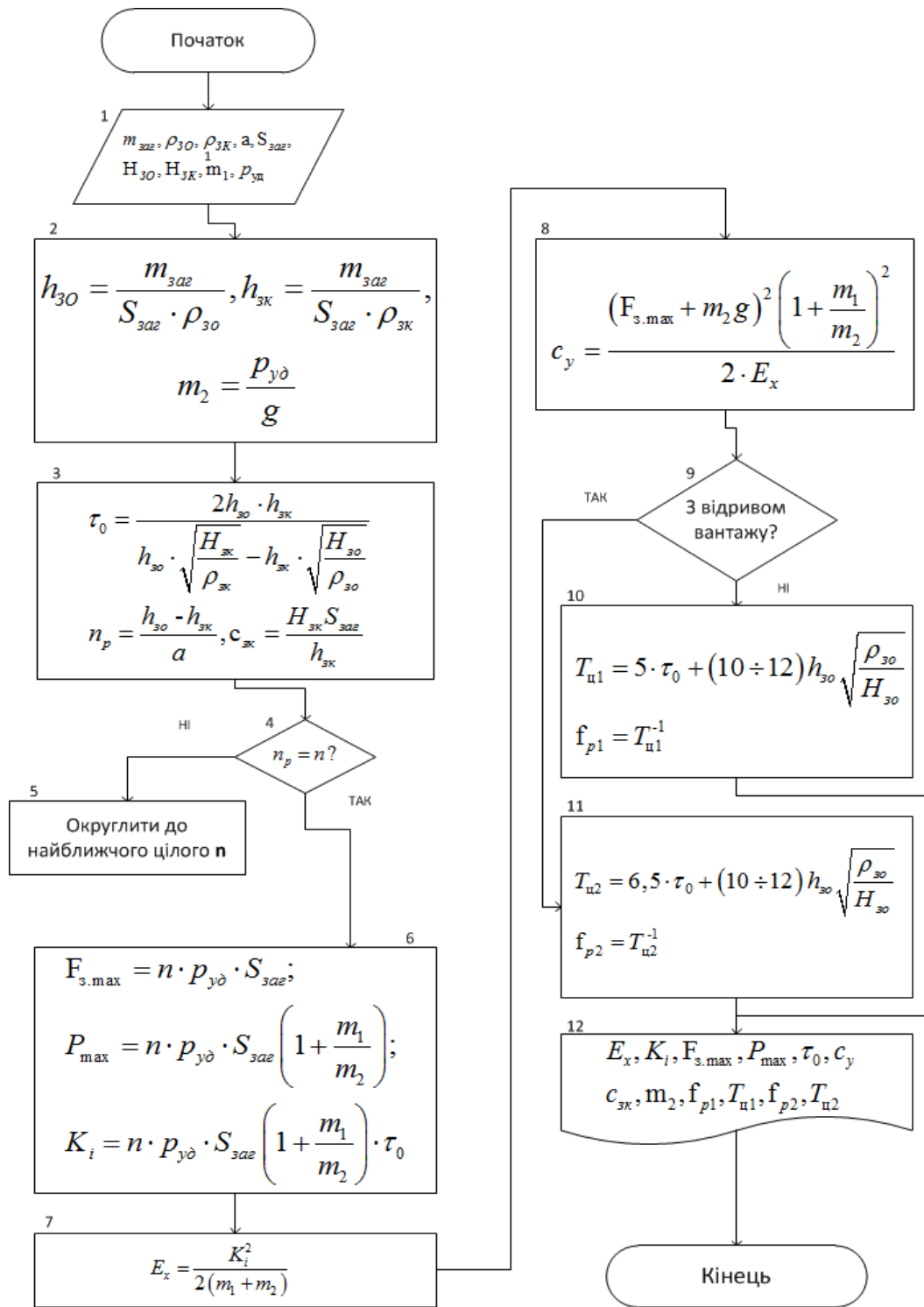


Рисунок 7.2 – Блок-схема алгоритму методики розрахунку параметрів інерційного навантаження кінцевої продукції

Після розрахунку додаткових параметрів вихідної цільової продукції h_{30} , $h_{3к}$ та лиш інерційного вантажу m_2 (блок 2) у відомій послідовності визначаємо тривалість ударного імпульсу τ_0 , розрахункову кількість хвиль пакету n_p та допоміжний параметр $c_{3к}$, який разом з $K_{3к}$ характеризує умовну жорсткість відпресованої цільової продукції паралелепіпедної конфігурації (блок 3).

Отримане значення n_p округлимо до найближчого цілого n (блоки 4, 5) і використовуємо при обчисленні максимальних значень зусилля пресування $F_{3.max}$ на робочій ланці P_{max} , імпульс зовнішніх сил K_i , енергію робочого ходу E_1 , та жорсткості елементів пружного повернення c_y (блоки 6,7,8).

Максимальну припустиму частоту f_p і відповідний їй мінімальний період впливу на кінцеву продукцію ударних імпульсів зовнішніх сил T_u встановлюємо для двох можливих режимів інерційного навантаження: без відриву – f_{p1} , T_{u1} ; з відривом f_{p2} , T_{u2} від пресування інерційного вантажу (блоки 9, 10, 11).

Результати, що отримані в попередніх розрахунках, вводимо у блок 12 для обчислення конструктивних параметрів ІВПМ та параметрів їхніх робочих режимів [147].

Для визначення конструктивних параметрів за вихідні будемо використовувати задані і розрахункові параметри інерційного навантаження кінцевої продукції E_x , K_i , m_i, m_2 , c_y , $c_{3к}$, що фігурують в блок – схемі (2). Вказані дані доповнюємо параметрами ІВПМ нормативного характеру. До них відносять жорсткість ґрунту C_{rp} , припустиме переміщення $[x]_{нк}$ і площу основи підтримуваної конструкції машини $S_{нк}$. Крім цього, в якості вихідних параметрів прийняли тиск відкриття запірного елемента віброзбуджувача P_1 , зведений модуль об'ємної пружності рідини K_{np} , площу у плунжера гідроциліндра ГП S_{nl} і попередньої деформації пружин пружного повернення $X_{деф}$.

Блок-схема алгоритму вищезгаданої методики розрахунку показано на рисунку 7.3.

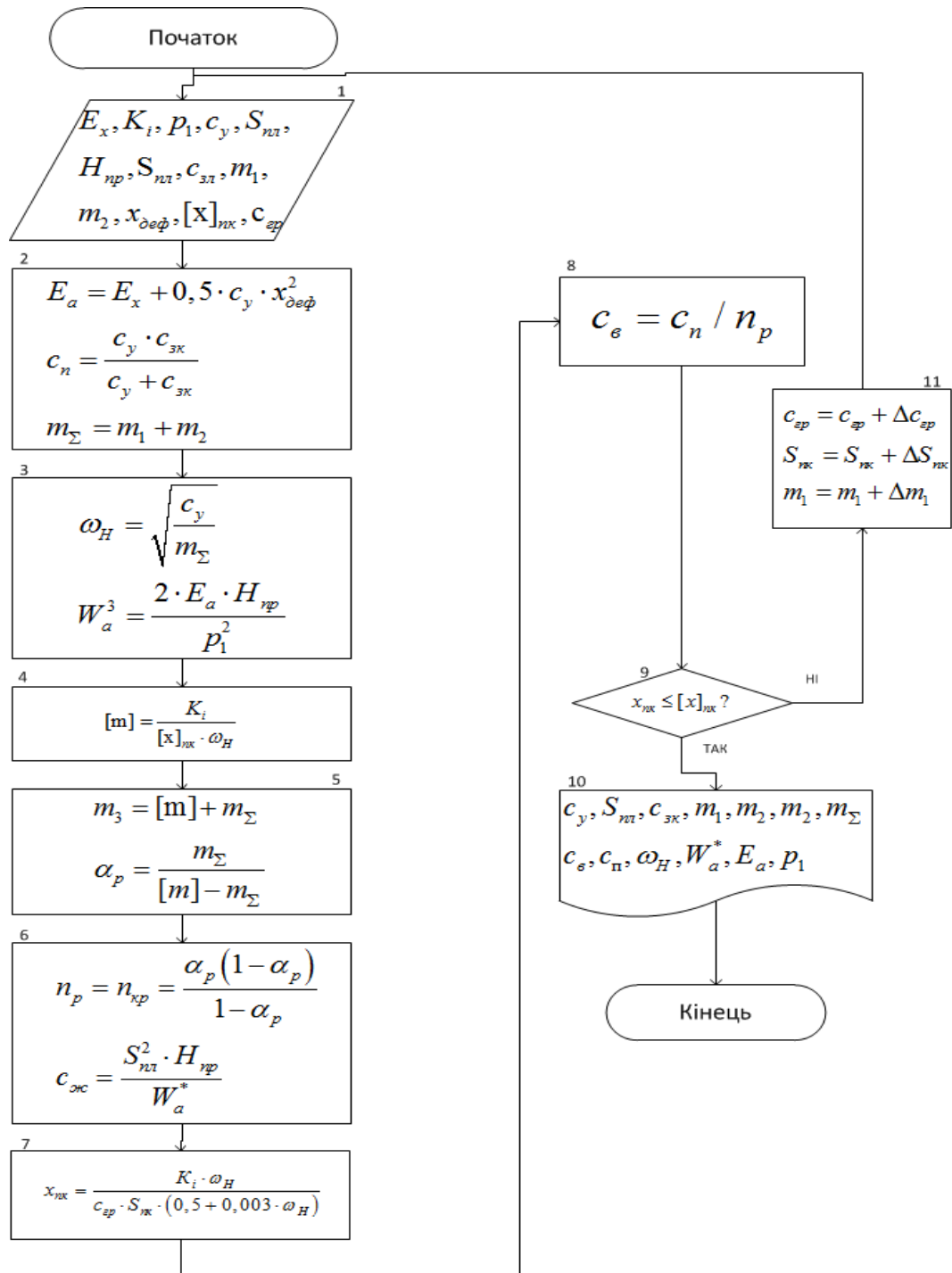


Рисунок 7.3 – Блок-схема алгоритму методики розрахунку конструктивних параметрів ІВПМ

За вихідними даними (блок 1) безпосередньо визначаємо розрахункову енергію одноциклового гідроаккумулятора E_a , зведену жорсткість c_n та сумарну зведену масу m_{Σ} – блок 2. Вказані розрахункові параметри використовуються при визначенні власної частоти коливань робочої ланки ω_n та об'єму гідросистеми, що акумуляє W_a – блок 3.

Далі визначаємо допустиму масу рухомих ланок $[m]$, масу станини m_3 , відносний параметр λ_p , критичне значення відносного параметра $n_{кр}$, жорсткість гідросистеми $c_{ж}$, розрахункові переміщення підтримувальної конструкції $X_{нк}$ та розрахункову жорсткість віброізоляторів C_v – блоки 4-7.

При виконанні умови віброізоляції $X_{нк} \leq [x]_{нк}$ (блок 8) обчислені конструктивні параметри (блок 9) можуть бути використані безпосередньо в проектуванні ІВПМ. Якщо умови віброізоляції не виконуються, тоді необхідне додаткове корегування в бік збільшення нормативних параметрів віброізоляції c_{rp} , $S_{нк}$ або параметра m_1 , що призначається конструктивно – блок 10. Після корегування вихідних даних (блок 1) розрахунок повторюється.

Вихідну інформацію про конструктивні параметри ІВПМ (блок 9) у разі використання комп'ютерних методів розрахунку доцільно подавати у розширеному вигляді, вносячи до неї деякі вихідні дані (блок 1), що полегшує виконання проектних робіт.

На основі блок–схем, що є графічним зображенням розрахунку основних параметрів ІВПМ та параметрів заготовки, вперше створена програма, функціональна частина якої запрограмована мовою Java Script та вбудована у Web-сторінку для оптимізації програмного комплексу. Програма призначена для автоматизації розрахунку параметрів інерційного навантаження кінцевої продукції та розрахунку конструктивних параметрів ІВПМ.

JavaScript(JS) – динамічна, об'єктно-орієнтована мова програмування, реалізація стандарту ECMA Script. Найчастіше використовується як частина браузера, що дає можливість коду на стороні клієнта (такому, що виконується на пристрої кінцевого користувача) взаємодіяти з користувачем, керувати браузером, асинхронно обмінюватися даними з сервером, змінювати структуру та зовнішній вигляд веб-сторінки.

На сьогоднішній день ця мова веб-програмування одержала найширше розповсюдження і практично всі браузери його підтримують. Крім того,

сценарії Java Script підтримуються в таких додатках, як AdobePhotoshop, AdobeDreamweaver, AdobeIllustrator або AdobeInDesign, які активно використовуються професіоналами для створення веб-дизайну. Щоб додати JavaScript на веб-сторінку, потрібно вставити програмний код javascript безпосередньо в html-код. Робиться це, зазвичай, в рамках тегу <head>, оскільки в цьому випадку сценарій javascript завантажується відразу, разом з усією сторінкою.

Програму ми поділили на два кроки. Перша частина розраховує параметри інерційного навантаження кінцевої продукції. Для розрахунку в програмі ми вводили базові параметри: масу навішування; лінійний розмір частинок матеріалу навішування; значення середньої щільності заготовки в початковий і кінцевий моменти ВУП; модуль умовної пружності в початковий і кінцевий моменти ВУП; питоме зусилля статичного притискання; площу відкритої поверхні з боку пуансона; параметр, що враховує зведену масу зведеної ланки ІВПМ.

За допомогою формул розраховували: висоту заготовки у початковий та кінцевий моменти ВУП; масу інерційного вантажу; тривалість ударного імпульсу; розрахункове число хвиль пакета; допоміжний параметр, що характеризує умовну жорсткість; максимальне значення зусилля пресування; максимальне значення зусилля на робочій ланці; максимальне значення імпульсу зовнішніх сил; максимальне значення енергії робочого ходу; максимальне значення жорсткості елементів пружного повернення; мінімальний період впливу на заготовку ударних імпульсів зовнішніх сил; максимально допустиму частоту.

ТЕСТ :: Вібропресове та вібраційне обладнання з гідроімпульсним приводом - Mozilla Firefox

Файл Правка Вид Журнал Зкладки Інструменти Справка

Персональний кабінет x Начальна страница Mozilla Firefox x ТЕСТ :: Вібропресове та вібраційне ... x +

file:///E:/gip/gip.html ☆ Яндекc

Крок 1. Базові параметри: [Повернути еталонні значення](#)

Маса навішення		$m_{\text{заг}}$	0.44	кг
Лінійний розмір частинок матеріалу заготовки		a	100	нм
Значення середньої щільності заготовки	у початковий момент ВУП	$\rho_{\text{з0}}$	1430	кг/м ³
	у кінцевий момент ВУП	$\rho_{\text{зк}}$	2360	кг/м ³
Модуль умовної пружності	у початковий момент ВУП	$H_{\text{з0}}$	97.413	МПа
	у кінцевий момент ВУП	$H_{\text{зк}}$	259.026	МПа
Питоме зусилля статичного притискання		$p_{\text{уд}}$	0.300	МПа
Площа відкритої поверхні з боку пуансона		$S_{\text{заг}}$	0.0024	м ²
Параметр, що враховує зведену масу робочої ланки ІВГМ		m_1	1	кг
З відривом вантажу?			☐	

Рисунок 7.4 – Розрахунок параметрів інерційного навантаження заготовки

ТЕСТ :: Вібропресове та вібраційне обладнання з гідроімпульсним приводом - Mozilla Firefox

Файл Правка Вид Журнал Закладки Інструменти Справка

Персональний кабінет x Начальная страница Mozilla Firefox x TECT :: Вібропресове та вібраційне ... x +

file:///E:/gip/gip.html

Вибір параметрів вантажу.

Крок 1. Розрахункові параметри: [Розрахувати](#)

Додатковий параметр заготовки	у початковий момент ВУП	$h_{z0} = \frac{m_{zsr}}{S_{zsr} \cdot \rho_{z0}}$	0.128205	м
	у кінцевий момент ВУП	$h_{zk} = \frac{m_{zsr}}{S_{zsr} \cdot \rho_{zk}}$	0.077684	м
Маса інерційного вантажу		$m_l = \frac{p_{fd} \cdot S_{zsr}}{g}$	73.419567	кг
Тривалість ударного імпульсу		$\tau_0 = \frac{2h_{z0} \cdot h_{zk}}{h_{z0} \cdot \sqrt{\frac{H_{zk}}{\rho_{zk}}} - h_{zk} \cdot \sqrt{\frac{H_{z0}}{\rho_{z0}}}}$	0.000897	с
Розрахункове число хвиль пакету		$n_p = \frac{h_{z0} - h_{zk}}{a}$	505215.124	-
		$n = n_p $	505215	-
Допоміжний параметр, що характеризує умовну жорсткість		$c_{zk} = \frac{H_{zk} \cdot S_{zsr}}{h_{zk}}$	8002490.531	Н/м
Максимальне значення зусилля пресування		$F_{z,max} = n \cdot p_{fd} \cdot S_{zsr}$	363754800.000	Н
Максимальне значення зусилля на робочій ланці		$P_{max} = n \cdot p_{fd} \cdot S_{zsr} \cdot \left(1 + \frac{m_l}{m_2}\right)$	368709266.680	Н

Рисунок 7.5 – Розрахунок параметрів інерційного навантаження заготовки

ТЕСТ :: Вібропресове та вібраційне обладнання з гідроімпульсним приводом - Mozilla Firefox			
Файл Правка Вид Журнал Закладки Інструменти Справка			
Персональний кабінет x Начальная страница Mozilla Firefox x ТЕСТ :: Вібропресове та вібраційне ... x +			
file:///E:/gip/gip.html			
Розрахункове число хвиль пакету	$n_p = \frac{h_{z0} - h_{zк}}{a}$	505215.124	-
	$n = n_p $	505215	-
Допоміжний параметр, що характеризує умовну жорсткість	$c_{зк} = \frac{H_{зк} \cdot S_{зк}}{h_{зк}}$	8002490.531	Н/м
Максимальне значення зусилля пресування	$F_{з.мак} = n \cdot p_{fd} \cdot S_{зк}$	363754800.000	Н
Максимальне значення зусилля на робочій ланці	$P_{мак} = n \cdot p_{fd} \cdot S_{зк} \cdot \left(1 + \frac{m_1}{m_2}\right)$	368709266.680	Н
Максимальне значення імпульсу зовнішніх сил	$K_i = n \cdot p_{fd} \cdot S_{зк} \cdot \left(1 + \frac{m_1}{m_2}\right) \cdot \tau_0$	330847.372	кг·м/с
Максимальне значення енергії робочого ходу	$E_x = \frac{K_i^2}{2 \cdot (m_1 + m_2)}$	735424749.954	Дж
Максимальне значення жорсткості елементів пружного повернення	$c_y = \frac{(F_{з.мак} + m_2 \cdot g)^2 \cdot \left(1 + \frac{m_1}{m_2}\right)^2}{2 \cdot E_x}$	92427581.148	Н/м
Мінімальний період впливу на заготовку ударних імпульсів зовнішніх сил	$T_ч = 5 \cdot \tau_0 + (10 \div 12) \cdot h_{z0} \cdot \sqrt{\frac{\rho_{z0}}{H_{z0}}}$	0.009890	с
Максимально допустима частота	$f_p = \frac{1}{T_ч}$	101.113832	Гц

Рисунок 7.6 – Розрахунок параметрів інерційного навантаження заготовки

Друга частина частина розраховує конструктивні параметри ІВПМ. Для розрахунку в програмі ми вводили базові параметри: інерційну масу; жорсткість ґрунту; можливе додаткове корегування жорсткості; допустиме переміщення; площу основи підтримувальної конструкції машини; можливе додаткове корегування площі; тиск відкриття запірного елемента віброзбуджувача; зведений модуль об'ємної пружності рідини; площа плунжера гідроциліндра ГП; попередня деформація пружин пружного повернення.

За допомогою формул розраховували: енергію одноциклового акумулятора; зведену жорсткість; сумарну зведену масу; власну частоту коливань робочої ланки; об'єм гідросистеми; допустиму масу робочих ланок; маса станини з фундаментом; відносний параметр; критичне значення відносного параметра; об'єм гідросистеми, що акумулює; допустиму масу рухомих ланок; масу станини з фундаментом; відносний параметр; критичне значення відносного параметра; жорсткість гідросистеми; розрахункове переміщення підтримувальної конструкції; розрахункова жорсткість віброізоляторів. Відобразили кількість ітерацій для виконання умови перевірки.

Дана програма є прикладом застосування сучасних інноваційних Web-технологій для розрахунку основних параметрів технологічного комплексу онлайн.

ТЕСТ :: Вібропресове та вібраційне обладнання з гідроімпульсним приводом - Mozilla Firefox

Файл Правка Вид Журнал Закладки Інструменти Справка

Персональний кабінет x Начальная страница Mozilla Firefox x TECT :: Вібропресове та вібраційне ... x +

file:///E:/gip/gip.html

Крок 2. Параметри ІВПМ нормативного характеру: [Повернути еталонні значення](#)

Можливе додаткове коригування параметру m_1	Δm_1	0	кг
Жорсткість ґрунту	$c_{гр}$	80.000	$10^6 \cdot \text{Н/м}^2$
Можливе додаткове коригування жорсткості $c_{гр}$	$\Delta c_{гр}$	2.000	$10^6 \cdot \text{Н/м}^2$
Допустиме переміщення	$[x]_{пк}$	0.006	м
Площа основи підтримувальної конструкції машини	$S_{пк}$	1	м^2
Можливе додаткове коригування площі $S_{пк}$	$\Delta S_{пк}$	0	м^2
Тиск відкриття запірного елемента вібробуджувача	p_1	16.000	$10^6 \cdot \text{Н/м}^2$
Зведений модуль об'ємної пружності рідини	$H_{пр}$	6.000	$10^{10} \cdot \text{Н/м}^2/\text{с}$
Площа плунжера гідроциліндра ГІП	$S_{пл}$	0.0151	м^2
Попередня деформація пружин пружного повернення	$x_{деф}$	0.02	м

Рисунок 7.7 – Розрахунок конструктивних параметрів ІВПМ

ТЕСТ :: Вібропресове та вібраційне обладнання з гідроімпульсним приводом - Mozilla Firefox

Файл Правка Вид Журнал Закладки Інструменти Справка

Персональний кабінет x Начальная страница Mozilla Firefox x ТЕСТ :: Вібропресове та вібраційне ... x +

file:///E:/gip/gip.html

Крок 2. Розрахункові параметри: Розрахувати

Розрахункова енергія одноциклового гідроаккумулятора	$E_a = E_x + 0.5 \cdot c_y \cdot x_{\text{деф}}^2$	735443235.470	Дж
Зведена жорсткість	$c_n = \frac{c_y \cdot c_{\Sigma}}{c_y + c_{\Sigma}}$	7364834.363	Н/м ²
Сумарна зведена маса	$m_{\Sigma} = m_1 + m_2$	74.419567	кг
Власна частота коливань робочої ланки	$\omega_n = \sqrt{\frac{c_y}{m_{\Sigma}}}$	1114.441365	Гц
Об'єм гідросистеми, що акумулює	$W_a = \sqrt[3]{\frac{2 \cdot E_a \cdot H_{\text{np}}}{p_1^2}}$	0.000015	м ³
Допустима маса рухомих ланок	$[m] = \frac{K_i}{[x]_{\text{нк}} \cdot \omega_n}$	49478.806488	кг
Маса станини з фундаментом	$m_{\text{ш}} = [m] + m_{\Sigma}$	49553.226055	кг
Відносний параметр	$\alpha_p = \frac{m_{\Sigma}}{[m] - m_{\Sigma}}$	0.001506	-
Критичне значення відносного параметра	$n_p = n_{\text{кр}} = \frac{\alpha_p \cdot (1 - \alpha_p)}{1 + \alpha_p}$	0.001502	-
Жорсткість гідросистеми	$c = \frac{S_{\text{np}}^2 \cdot H_{\text{np}}}{m_{\Sigma}}$	39.683933	Н/м ²

Рисунок 7.8 – Розрахунок конструктивних параметрів ІВПМ

ТЕСТ :: Вібропресове та вібраційне обладнання з гідроімпульсним приводом - Mozilla Firefox

Файл Правка Вид Журнал Закладки Інструменти Справка

Персональний кабінет x Начальная страница Mozilla Firefox x TECT :: Вібропресове та вібраційне ... x +

file:///E:/gip/gip.html

Об'єм гідросистеми, що акумулює	$W_a = \sqrt[3]{\frac{2 \cdot E_a \cdot H_{np}}{p_1^2}}$	0.000015	м³
Допустима маса рухомих ланок	$[m] = \frac{K_i}{[x]_{пк} \cdot \omega_n}$	49478.806488	кг
Маса станини з фундаментом	$m_{\Sigma} = [m] + m_{\Sigma}$	49553.226055	кг
Відносний параметр	$\alpha_p = \frac{m_{\Sigma}}{[m] - m_{\Sigma}}$	0.001506	-
Критичне значення відносного параметра	$n_p = n_{np} = \frac{\alpha_p \cdot (1 - \alpha_p)}{1 + \alpha_p}$	0.001502	-
Жорсткість гідросистеми	$c_{\Sigma} = \frac{S_{nn}^3 \cdot H_{np}}{W_a^3}$	39.683933	Н/м²
Розрахункове переміщення підтримувальної конструкції	$x_{пк} = \frac{K_i \cdot \omega_n}{c_{np} \cdot S_{пк} \cdot (0.5 + 0.003 \cdot \omega_n)}$	1.199	м
Розрахункова жорсткість віброізоляторів	$c_z = \frac{c_n}{n_p}$	4903991904.204	Н/м²

Крок 2. Порівняння результатів: $x_{пк} \leq [x]_{пк}$?

Кількість ітерацій для виконання умови перевірки	7955	шт.
--	------	-----

Рисунок 7.9 – Розрахунок конструктивних параметрів ІВПМ

7.2 Оцінювання ефективності та прогнозування роботи технологічного комплексу

Ресурс – це час функціонування технологічного комплексу до появи відмови. Це нестала величина і залежить від багатьох факторів, як зовнішніх, властивим умовам експлуатації, так і внутрішніх.

Кожна система технологічного комплексу характеризується величиною, що забезпечує відношення одних складових елементів відносно інших. Для оцінювання стану системи використаємо коефіцієнт залишкового або використаного ресурсу [31, 57, 84]:

$$R_{зал} = (\Pi_{Г} - \Pi_{ф}) / (\Pi_{Г} - \Pi_{н}). \quad (7.1)$$

де $R_{зал}$ – коефіцієнт залишкового ресурсу, причому $1 \geq R_{зал} \geq 0$, $\Pi_{Г}$ – граничне значення системи, $\Pi_{ф}$ – фактичне значення системи. $\Pi_{н}$ – номінальне значення системи.

Як видно з (7.1), коефіцієнт залишкового ресурсу за час нормальної роботи технологічного комплексу змінюється від одиниці до нуля, він наближено вказує частку фактичного ресурсу системи. Коефіцієнт використаного ресурсу визначимо за формулою:

$$R_{вик.} = 1 - R_{зал}. \quad (7.2)$$

Він характеризує частоту фактичного ресурсу системи, яка вже використана за час її експлуатації і змінюється у межах $0 \leq R_{вик.} \leq 1$, тобто змінюється від нуля до одиниці. Аналізуючи бачимо, що $R_{вик.}$ $R_{зал.}$ знаходяться у залежності.

За допомогою запропонованих нами коефіцієнтів стан будь-якого фізичного параметра можна охарактеризувати універсальним оцінним показником.

У загальному вигляді ми охарактеризували метод діагностики ресурсу, оцінювання ефективності роботи технологічного комплексу. Залишається проаналізувати важливі задачі зв'язку та взаємовпливу між діагностикою та прогнозуванням забезпечення ефективного функціонування технологічного комплексу.

Для реалізації методу діагностики ресурсу пропонуємо розробити такі підходи: лінійного прогнозування, середньостатистичного прогнозування, автоматизованого комп'ютерного прогнозування.

Послідовно розглянемо названі три позиції діагностування, які тісно пов'язані з прогнозуванням цих же процесів.

1. Підхід лінійного прогнозування. Лінійне прогнозування є найпростішим способом, який полягає у припущенні, що умови експлуатації залишаються незмінними, а залежність зміни параметра від часу буде лінійною. Завдяки цим припущенням для одержання прогнозу достатньо знати лише такі величини: напрацювання на відмову з початку експлуатації – T_n , номінальне – T_n , граничне – T_g та фактичне T_f значення параметрів. тоді формула лінійного прогнозування буде мати вигляд:

$$T_{зал.} = T_n R_{зал.} / R_{вик.}, \quad (7.3)$$

де $R_{зал.}$ коефіцієнт залишкового ресурсу, $R_{вик.}$ – коефіцієнт використаного ресурсу.

2. Середньостатистичне прогнозування. Важливою складовою нашого методу є визначення залежності між систематичними технологічного комплексу. Велика кількість спостережень дає змогу застосувати для обробки методи математичної статистики та комп'ютерні засоби.

В зв'язку впливу випадкових факторів закономірність зміни стану системи має різний характер. Однак чим ретельніше буде обстежений технологічний комплекс, тим виразніше буде виявлятися зона, у якій щільність кривих $P(t)$ значно більша, ніж в зонах по обидва боки від неї (рис.

7.10). Обробивши експериментальні дані методом найменших квадратів [154], одержимо математичний вираз залежності $\Pi(t)$.

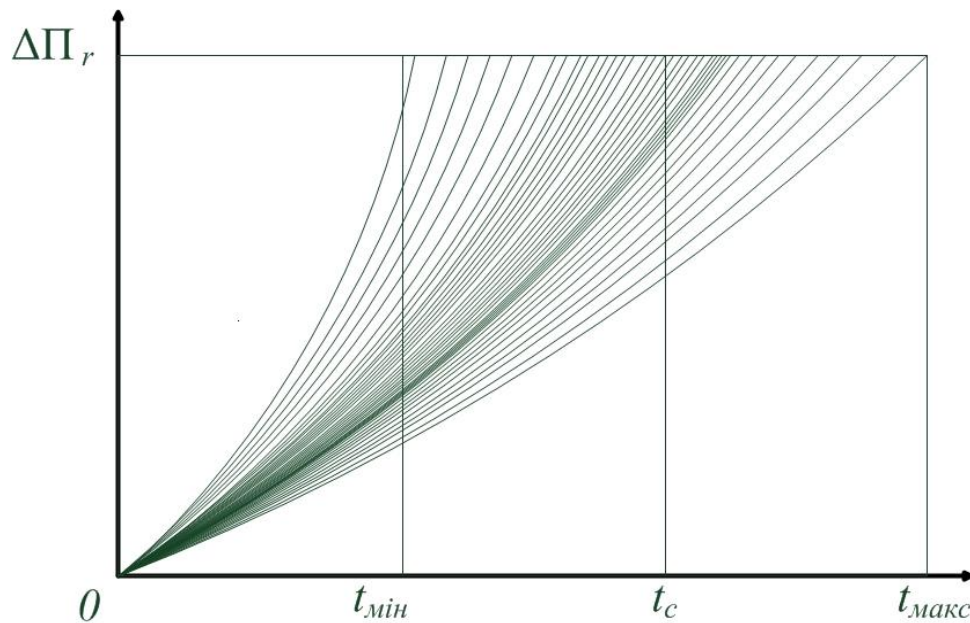


Рисунок 7.10 – Статистичні криві залежності зміни стану системи.

Горизонтальна лінія, проведена з точки граничного значення параметра, перетинається з середньою лінією залежності у точці, яка відповідає середньому ресурсу системи.

Деякі лінії перетинаються вказану горизонталь по обидва боки від середнього значення, створюючи розсіювання фактичних ресурсів окремих об'єктів відносно середнього ресурсу. Це розсіювання ми оцінювали показниками коефіцієнта варіації, стандартного відхилення, дисперсії, які характеризують ступінь невизначення процесу.

У [156] підкреслено, що, незалежно від розміщення на графіку кривої даного реального об'єкта, її визначають за такою ж формулою з однаковими значеннями показника α , але з так званим коефіцієнтом a , властивим лише даному конкретному об'єкту. Отже, коефіцієнт a визначає масштаб

залежності або швидкість зміни параметра. Величина показника α є спільною для усіх однотипних об'єктів.

Таким чином, під час прогнозування за середньостатистичними даними визначають ймовірність того, що протягом заданого часу t_m даний параметр не вийде за межі граничного значення і відмова у системі не настане.

Величина t_m являє собою заздалегідь передбачену періодичність технічного обслуговування або ремонту.

Якщо під час функціонування системи стан менший за допустимий, то гарантується безвідмовна її робота до наступного кроку діагностування.

Між кількістю діагностувань, для яких гарантується відсутність відмови, та припустимими значеннями існує така залежність:

$$n = \frac{1}{1 - \alpha \sqrt[n]{P_D / P_G}}, \quad (7.4)$$

де n – кількість перевірок; P_G – граничне значення параметра, P_D – допустиме значення параметра, α – показник степеня залежності $P(t)$.

Врахуємо лише цілу частину результату, а залишок відкинемо. Дійсно, кількість перевірок не може становити, наприклад, 2,4; тому 0,4 відкинемо і залишимо 2. Найменша ймовірність відмови спостерігається при $n=2$. У цьому випадку допустима величина параметра становитиме:

$$P_D = 0,5^\alpha P_G. \quad (7.5)$$

При $\alpha=1$ $P_D=0,5P_G$, тобто дорівнює половині граничної зміни параметра.

Виходячи з величини P_D або n та враховуючи задану періодичність t_m , визначимо найбільш ймовірний стан залишкового ресурсу t_p досліджуваної системи:

$$t_p = \alpha \sqrt[n]{P_G / P_D} (n-1)t_M \quad (7.6)$$

Якщо $\alpha = 1, n = 2, \Pi_{\text{д}} \equiv 0,5\Pi_{\text{г}}$, то залишковий ресурс системи становитиме $t_p = 2t_M$.

Зазначені допустимі значення параметрів, запропонованих нами для технологічного комплексу, дають можливість звести до мінімуму витрати на їхнє технічне обслуговування.

У зв'язку зі сказаним визначимо оптимальні допустимі значення плинущих параметрів:

$$\Pi_{\text{д.о.}}^{\text{ОПТ}} = \alpha \sqrt{\frac{m}{(d - m)(N - 1)}}, \quad (7.7)$$

де N – відношення середніх витрат на усунення відмови до середніх витрат на технічне обслуговування. У формулі (5.6) допустима зміна параметра виражена не в абсолютних одиницях, а в частинах від граничної зміни, тобто від значення допуску $(\Pi_{\text{г}} - \Pi_{\text{н}})$. Величина d та m – це показники степеня залежностей ймовірності відмови:

$$Q(\Pi_{\text{д.о.}}) = \Pi_{\text{д.о.}}^d, \quad (7.8)$$

та фактичного залишкового ресурсу

$$t_{\text{ф}}^0(\Pi_{\text{д.о.}}) = t^0 \Pi_{\text{д.о.}}^m, \quad (7.9)$$

де t^0 – відносне міжконтрольне напрацювання на відмову $t^0 = t_{\text{ср}}/t_M$.

Величини показників d та m визначимо методом найменших квадратів. Запропонований нами підхід прогнозування потребує 200–500 спостережень за аналогічними об'єктами та застосування комп'ютерної техніки.

Ймовірність відмови зменшується зі зменшенням допустимої величини зміни параметра до величини $0,5^\alpha$, а потім залишається незмінною; при $\Pi_{\text{д.о.}} = 1$ ймовірність відмови дорівнює одиниці; зі зменшенням проміжків діагностування t_M ймовірність відмови зменшується; зі зменшенням допустимої величини $\Pi_{\text{д.о.}}$ також зменшується.

Прикінцевим положенням середньостатистичного прогнозування є визначення витрат, що пов'язані з усуненням відмов технологічного комплексу. Використаємо формулу виду:

$$A = X_1 g_1 r_1 + X_2 g_2 r_2 + X_3 g_3 + X_4 + S(t), \quad (7.10)$$

де X_1 – трудомісткість усунення відмови (оцінка в годинах);

g_1 – середня годинна тарифна ставка працівника, зайнятого усуненням відмови (оцінка у гривнях);

r_1 – коефіцієнт, що враховує нарахування на заробітну плату та накладні витрати;

X_2 – вартість запасних частин, що витрачаються на усунення відмови (оцінка у гривнях);

g_2 – коефіцієнт, що враховує вартість ремонтних матеріалів, які будемо витрачати для усунення відмови;

r_2 – коефіцієнт, що враховує націнку на запасні частини та матеріали (у середньому дорівнює 1,12);

X_3 – тривалість не функціонування технологічного комплексу під час відмови (оцінка в годинах);

g_3 – середні втрати від простою вібропресової машини 1 годину (оцінка в гривнях);

X_4 – транспортні витрати, що пов'язані з доставкою запасних частин до місця усунення відмови (оцінка у гривнях)

S – втрати за рахунок погіршення якості роботи технологічного комплексу, зниження її економічності (оцінка у гривнях).

У свою чергу, середні втрати для виконання технічного обслуговування визначили за формулою

$$S(t) = X_1 g_1 r_1 + X_2 g_2 r_2. \quad (7.11)$$

Отже, поставлену задачу визначення витрат, які пов'язані з усуненням відмов технологічного комплексу виконано.

3. Автоматизація та комп'ютеризація процесів прогнозування функціонування технологічного комплексу. Дослідження та підрахунки прогнозу вручну досить складні, за винятком лінійного прогнозування, де необхідно розв'язати лише просту пропорцію з одним невідомим, оцінка точності якого досить висока.

7.3 Визначення ефективності функціонування гідроімпульсного приводу тривалої дії

Спосіб визначення ефективності функціонування гідроімпульсного приводу тривалої дії, який включає виділення вібросигналів на резонансній частоті вібродатчика, їх нормування та виділення в них амплітудних груп, нормування вібросигналів проводять за огинаючими, серед яких виділяють амплітудні групи, а у виділених амплітудних групах частоти сигналів, що повторюються, порівнюють з частотами власних обертових коливань рухомих елементів механічної системи, вимірюють кількість спрацювань, тиск робочої рідини у акумуляторній гідролінії, тиск у порожнині гідроциліндра, вертикальні переміщення вібростолу, визначають коефіцієнт ефективності функціонування гідроімпульсного приводу тривалої дії [171].

Створення такого способу визначення ефективності функціонування гідроімпульсного приводу тривалої дії; за рахунок введення нових операцій та їх послідовності розширюються функціональні можливості способу. Поставлена задача вирішується тим, що у способі визначення ефективності функціонування гідроімпульсного приводу тривалої дії, що включає виділення вібросигналів на резонансній частоті вібродатчика, їх нормування та виділення в них амплітудних груп, нормування вібросигналів проводять за огинаючими, серед яких виділяють амплітудні групи, а у виділених амплітудних групах частоти сигналів, що повторюються, порівнюють з частотами власних обертових коливань рухомих елементів механічної

системи, згідно з корисною моделлю, вимірюють кількість спрацювань, тиск робочої рідини у акумуляторній гідролінії, тиск у порожнині гідроциліндра, вертикальні переміщення вібростолу, визначають коефіцієнт ефективності функціонування гідроімпульсного приводу тривалої дії.

Спосіб здійснюють наступним чином: за паспортними даними розраховують обертові частоти всіх рухомих елементів механічної системи; встановлюють вібродатчик поруч з рухомих елементом механічної системи; підключають послідовно фільтр, що налаштований на резонансну частоту вібродатчика та вузол детектування до виходу приладу знімання вібросигналів; в отриманих вібросигналах будують огинаючі, серед яких виділяють амплітудні групи. У виділених амплітудних групах частоти сигналів, що повторюються, порівнюють з частотами власних обертових коливань елементів механічної системи, тим самим вилучаючи із суміші вібросигналів ті що стосуються конкретного елемента. Вимірюють кількість спрацювань; вимірюють тиск робочої рідини у акумуляторній гідролінії; вимірюють тиск у порожнині гідроциліндра; вимірюють вертикальні переміщення вібростолу; вимірюють робочі характеристики гідроімпульсного приводу за допомогою вимірювального комплексу для реєстрації робочих характеристик гідроімпульсного приводу, який складається з тензопідсилювача з блоком живлення і магазином опорів; світлопроменевого осцилографа з випрямлячем; вібровимірювальної апаратури; міліамперметра; трубчастих тензодатчиків тиску; балочних тензодатчиків переміщення; датчиків прискорення (акселерометрів); манометра; шумоміра, витратомірів (мірних ємностей) та термометра. Всю вимірювальну та реєструвальну апаратуру вибирають з дотриманням вимог точності експериментальних досліджень; визначають коефіцієнт ресурсу по параметру кількості перемикачів; визначають коефіцієнт ресурсу по параметру тиск робочої рідини у акумуляторній гідролінії; визначають коефіцієнт ресурсу по параметру тиск у порожнині гідроциліндра; визначають коефіцієнт ресурсу по параметру вертикального переміщення

вібростолу; визначають коефіцієнт ефективності функціонування гідроімпульсного приводу, вагові коефіцієнти; Приймають рішення про подальшу експлуатацію, ремонт чи заміну окремих елементів, чи виведення з експлуатації досліджуваного гідроімпульсного приводу тривалої дії. При використанні запропонованого способу зменшується гідроімпульсного приводу тривалої дії, зростає термін безаварійної роботи та забезпечується ощадливе використання його технічного ресурсу [171].

7.4 Функціонально-вартісний аналіз технологічного комплексу

Для прийняття раціонального та обґрунтованого рішення доцільно використовувати функціонально-вартісний аналіз (ФВА), що об'єднує різні методи колективного аналізу систем, творчого пошуку, оптимізації та вибору рішень [169].

ФВА базується на системному дослідженні структури функцій об'єкта, зівставлення їхньої корисності та вартості реалізації з метою забезпечення необхідної корисності системи при мінімально можливих сукупних затратах. Отже, прийняття рішень при ФВА здійснюється на основі двох критеріїв – корисності та вартості.

Структурний аналіз технічних і виробничих систем дозволяє виявити диспропорції в розвитку окремих складових, неузгодженість параметрів і взаємодії елементів, що суттєво може впливати на кінцеві показники функціонування системи в цілому.

Функціональна модель відображає впорядковану сукупність функцій системи і зв'язки між ними, що реалізуємо за допомогою методу аналізу функцій FAST (Functional Analysis System Technique), використовуючи різні тестові запитання (ЩО? НАВІЩО? ЯК? КОЛИ? тощо). Наприклад, для побудови функціональної моделі технологічного процесу зручно використовувати

запитання: «Що необхідно для здійснення функції і НАВІЩО здійснюється дана функція?» (рис. 7.5)

Структуризація та аналіз функцій передбачають виділення головної функції, що передбачає мету і призначення системи, основних функцій, без яких не може бути виконана головна, а також допоміжних і надлишкових [169].

Що необхідно?

Навіщо?

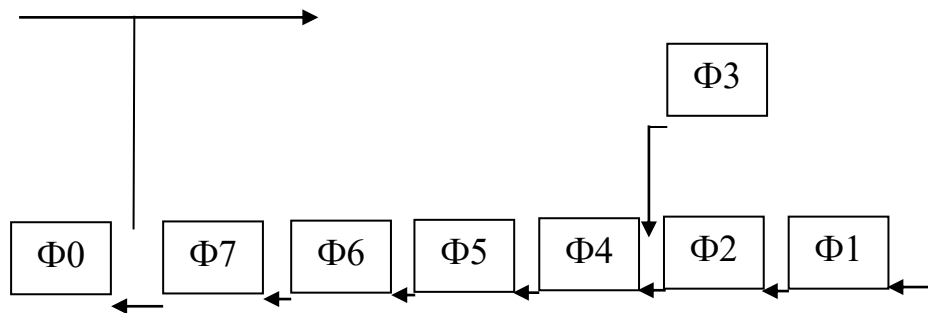


Рисунок 7.5 – Функціональна модель процесу формоутворення

Φ0 – навішування; Φ1 – спосіб ВУП; Φ2 – режим ВУП; Φ3 – функціонування ГП; Φ4 – функціонування рухомих ланок ІВПМ; Φ5 – функціонування віброзбуджувача; Φ6 – функціонування прес-форми; Φ7 – заготовка

Функціонально-вартісний аналіз проводимо для однієї із найбільш розповсюджених серед досліджуваних операцій – для процесу формоутворення заготовок з порошкових матеріалів на вібропресовому обладнанні з гідроімпульсним приводом.

Для подальшого вибору шляхів проектування системи визначали основні корисні функції (операції), які вона повинна відпрацьовувати при роботі, класифікували функції системи (таблиця 7.1).

Таблиця 7.1 – Класифікація функцій системи для процесу формоутворення заготовок

	Назва операції	Характер	Властивість
1.	Ф0 – Навішування	Зовнішня головна	Корисна
2.	Ф1 – Спосіб ВУП	Внутрішня основна	Корисна
3.	Ф2 – Режим ВУП	Внутрішня основна	Корисна
4.	Ф3 – Функціонування ГП	Внутрішня основна	Корисна
5.	Ф4 – Функціонування рухомих ланок ІВПМ	Внутрішня основна	Корисна
6.	Ф5 – Функціонування віброзбуджувача	Внутрішня другорядна	Нейтральна
7.	Ф6 – Функціонування прес-форми	Зовнішня другорядна	Нейтральна
8.	Ф7 – Заготовка	Зовнішня другорядна	Нейтральна

Проведення ФВА базується на співвідношенні двох критеріїв: корисності та вартості [127]. Коефіцієнт корисності визначали шляхом побудови матриці пріоритетів (табл. 7.2) за відомою методикою розрахунку.

Таблиця 7.2 – Матриця пріоритетів для процесу формоутворення заготовок

	Назва операції	Номер функції							Рі,j	Коеф. корисності	Ранг
								Сума номерів функцій			
1.	Ф0 – Навішування	1	0,5	0,5	0,5	1,5	1,5	1,5	7	3,75	4
2.	Ф1 – Спосіб ВУП	1,5	1	0,5	0,5	1,5	1,5	1,5	8	5,25	3
3.	Ф2 – Режим ВУП	1,5	1,5	1	1,5	1,5	1,5	1,5	10	49,25	1
4.	Ф3 – Функціонування ГП	1,5	1,5	0,5	1	1,5	1,5	1,5		48,5	2
5.	Ф4 – Функціонування рухомих ланок ІВПМ	0,5	0,5	0,5	0,5	1	1	0,5	4,5	7,75	5
6.	Ф5 – Функціонування вібробуджувача	0,5	0,5	0,5	1	1	1	1,5	6	5,5	6
7.	Ф6 – Функціонування прес-форми	0,5	0,5	0,5	0,5	1,5	0,5	1	5	2,5	7
	<i>Всього</i>	-	-	-	-	-	-	-	-	194,76	-

При попарному порівнянні функцій у відповідних комірках матриці проставляють коефіцієнти переваг. Якщо при попарному порівнянні рядок має перевагу над стовпцем, то коефіцієнт переваг приймають рівним 1.5, при їх однаковій значущості – 0.5, а при меншій – 1.

Витрати при ФВА виступають як плата за корисність. Узагальнюючий критерій витрат при проектуванні технічних чи виробничих систем враховує

витрати на всіх етапах життєвого циклу системи, для оцінки яких будують матрицю витрат (табл. 7.3), з якої визначають коефіцієнт витрат [169]

Таблиця 7.3 – Матриця витрат

	Назва операції	Витрати		Сума витрат	Коеф. витрат	Ранг
		Прямі	Експл.			
1.	Ф0 – Навішування	2,1	2,5	4,6	0,004347826	2
2.	Ф1 – Спосіб ВУП	1,8	2,3	4,1	0,003875236	1
3.	Ф2 – Режим ВУП	3,2	3,6	6,8	0,006427221	4
4.	Ф3 – Функціонування ГП	1,8	2,3	4,1	0,003875236	1
5.	Ф4 – Функціонування рухомих ланок ІВПМ	3,6	3,9	7,5	0,007088847	6
6.	Ф5 – Функціонування віброзбуджувача	3,5	3,8	7,3	0,006899811	5
7.	Ф6 – Функціонування прес-форми	2,5	2,8	5,3	0,005009452	3
	<i>Всього</i>	-	-	39,7	-	-

Специфічною процедурою проведення ФВА є побудова функціонально-вартісної діаграми (ФВД), яка є графічним зображенням співвідношення між значущістю функцій і витратами на їх реалізацію [55]. Побудова ФВД здійснюється з метою виявлення невідповідності витрат відносно до корисності (рис.7.6).

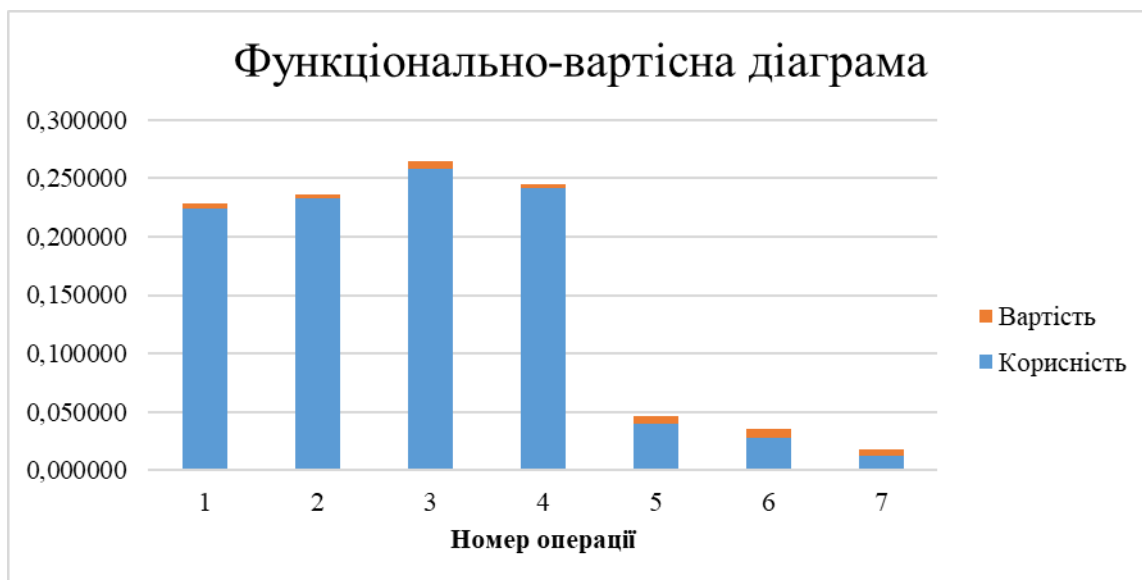


Рисунок 7.6. Функціонально-вартісна діаграма процесу формоутворення заготовок 1 – навішування; 2 – спосіб ВУП; 3 – режим ВУП; 4 – функціонування ГПП; 5 – функціонування рухомих ланок ІВПМ; 6 – функціонування віброзбуджувача; 7 – функціонування прес форми

Таблиця 7.4 – Функціонально-вартісний показник процесу формоутворення заготовок

	Назва операції	Коеф. корисності	Коеф. витрат	ФВП	Ранг
1.	Ф0 – Навішування	0,224635	0,00434783	0,2202567	3
2.	Ф1 – Спосіб ВУП	0,232337	0,00387524	0,21935846	4
3.	Ф2 – Режим ВУП	0,25774	0,00642722	0,2521278	1
4.	Ф3 – Функціонування ГПП	0,24158	0,00387524	0,243865	2
5.	Ф4 – Функціонування рухомих ланок ІВПМ	0,03979	0,00708885	0,03270115	5
6.	Ф5 – Функціонування віброзбуджувача	0,02824	0,00689981	0,0213402	6
7.	Ф6 – Функціонування прес-форми	0,012836	0,00500945	0,00782655	7

На перший погляд, перевага корисності над вартістю має операція режиму ВУП.

Побудова ФВП – це графічне відображення співвідношення між критерієм і рангом функції (рис. 7.7) з метою визначення технологічної операції, удосконалення якої забезпечить мінімізацію енергоємності технологічного процесу.

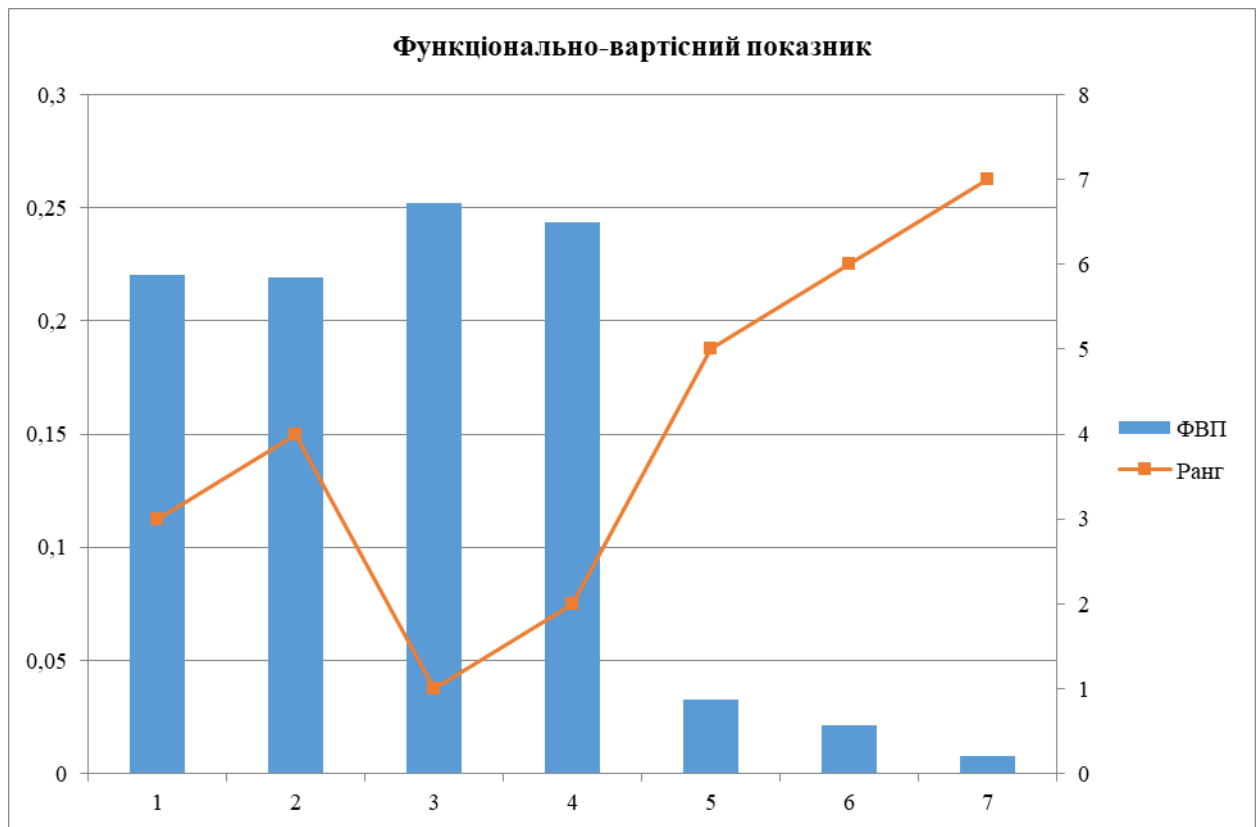


Рисунок 7.7 – Функціонально-вартісний показник процесу формоутворення

На підставі проведених досліджень та створених моделей, були виявлені шляхи удосконалення роботи вібропресового обладнання та запропоновано ряд заходів щодо поліпшення процесу формоутворення виробів з будівельних матеріалів, зокрема з будівельних сумішей, на ПРАТ «Обласний завод залізобетонних виробів і конструкцій» (м. Вінниця), а також результати цих досліджень використовуються у навчальному процесі у Вінницькому національному технічному університеті та Вінницькому національному аграрному університеті, що підтверджується актами впровадження (Додаток Д).

ВИСНОВКИ

У монографії розроблено модель на основі множин вхідних та вихідних параметрів для оцінювання ефективності функціонування технологічного комплексу. Побудовано метод оцінювання стану технологічного комплексу на базі математичного апарату нечітких множин.

Виконані експериментальні дослідження вібропресового обладнання з гідроімпульсним приводом для пресування порошкових матеріалів, де удосконалені підходи до оцінювання ефективності прийнятих рішень формоутворення заготовок з порошкових матеріалів.

Порівняльний аналіз відхилення теоретичних та експериментальних досліджень за енергетичними та технологічними параметрами досліджуваного обладнання показав, що розбіжність отриманих значень становить 5,8...9,7%. Це підтверджує адекватність математичної моделі та можливість її подальшого використання у розрахунках.

На основі теоретичних та експериментальних досліджень доведено, що для порошкових матеріалів М1, М2 ефективним є використання ВУП – І при $P=0,12$ МПа; для порошкового матеріалу М3 – ВУП – ІІІ при $P=0,13$ МПа; для порошкового матеріалу М4 – ВУП – ІІ при $P=0,15$ МПа. Це дозволило скоротити час обробки матеріалу, забезпечити мінімізацію енергоємності технологічного процесу і покращити якість заготовки.

На основі алгоритмів та побудованих блок-схем розроблена програма для автоматизації розрахунку основних параметрів інерційного навантаження заготовки та конструктивних параметрів ІВПМ у вигляді Web-сторінки за допомогою Java Script, яка відображає дані в глобальній мережі Internet.

Створено спосіб визначення ефективності функціонування гідроімпульсного приводу тривалої дії. В основу корисної моделі поставлено задачу створення такого способу, в якому за рахунок введення нових

операцій та їх послідовності розширюються функціональні можливості способу. На запропоновану корисну модель отримано патент України.

Для прийняття раціонального та обґрунтованого рішення використано функціонально вартісний аналіз, що надало перевагу саме операції режиму пресування. Вибір цієї технологічної операції забезпечить мінімізацію енергоємності технологічного процесу та якість заготовки з порошкового матеріалу.

Література

1. Жук К.Д., Тимченко А.А. «Автоматизированное проектирование логико-динамических систем. Киев. «Наукова думка» –1981г.
2. Лисогор В.М. Автореферат дисертації «Моделювання багатостадійних динамічних технологічних процесів з неповною інформацією про стан і нечіткими границями стадій. Вінниця – 1995.
3. Mumford E. User participation in a changing environment – why we need it. – London: Kogan Page, 1989.
4. Checkland P. Systems Thinking, Systems Practice. – Chichester: John Wiley and Sons, 1981.
5. Boehm B.W. A spiral model of software development and enhancement // IEEE Computer. – 1988. – 21(5). – P.61-133.
6. ГОСТ 23501. 09–79. Системы автоматизированного проектирования: Основные положения.–Введ. 01.01.80.
7. ГОСТ 22487–77. Проектирование автоматизированное: Термины и определения.–Введ. 27.04.77.
8. Жук К.Д., Дехтяренко В.А., Сагинашвили О.Н. Многоуровневые логические схемы принятия решений в задачах системного проектирования.– В кн.: IV симпоз. По кибернетике ..(Москва, сент., 1972 г.): Тез. докл. М.: Наука, 1972, с.25-26.
9. Глушков В.М. Математизация научного знания и теория решений.– Вопр. Философии, 1978, №1, с. 5–12.
- 10.Жук К.Д. Оптимизация качества функционирования сложных ЛДС.– В кн.: Системное проектирование сложных систем управления. Киев: ИК АН УССР, 1973, с.3–34.
- 11.Тимченко А.А. Системный подход к разработке САПР –В кн.: Автоматизация проектирования систем автоматического и

- автоматизированного управления : II Всесоюз. науч.-техн. совещ. Тез. докл. Челябинск: ЧПИ, 1978, с.57–58.
12. Жук К.Д. Системные методы в программировании жизненных циклов объектов новой техники.—В кн.: Автоматизация проектирования сложных систем. Минск: ИТК АН БССР, 1976, с. 16-26.
 13. Пospelов Г.С., Ириков В.А. Программно-целевое планирование и управление —М.: Сов. радио, 1976.—438с.
 14. Тимченко А.А., Ходзицкий А.Г. Условия разрешимости задачи синтеза многосвязных систем управления обратными методами.—В кн.: Методы и средства автоматизации процессов проектирования. Киев, 1976.—с. 14–17.—(Препринт/ИК АН УССР; 76-59).
 15. Тимченко А.А. Системный подход к разработке САПР.—В кн.: Автоматизация проектирования систем автоматического и автоматизированного управления: II Всесоюз. Науч.-техн. совещ. Тез. докл. Челябинск: ЧПИ, 1978, с. 57-58.
 16. Моисеев Н.Н. Неформальные процедуры и автоматизация проектирования.—М.: Знание, 1979.—63 с.
 17. Матвиевский С.Ф. О проблематике общей теории оптимального проектирования больших технических систем.—В кн.: Технология моделирования процессов функционирования больших систем. М.: МДНТП, 1968, с. 13-17.
 18. Робинсон А. Обзор методов проектирования систем управления полетом.—Вопр. ракет. техники, 1969, №9, с. 3–15; №10, с. 4–20.
 19. Жук К.Д. Некоторые новые задачи системного проектирования управляющих комплексов. — Управляющие системы и машины, 1973, №3. 18–26.
 20. Жук К.Д. Методы системного проектирования как основа разработки САПР — Киев, 1976.—24с.
 21. Бусленко Н.П., Моделирование сложных систем.—М: Наука, 1968.—355с.

- 22.Крейн М.Г., Далецкий Ю.Л. Устойчивость решений дифференциальных уравнений в банаховом пространстве.–Киев: Наука, 1970.–186с.
- 23.Саркисян С.А., Махундов В., Минаев Э.С. и др. Большие технические системы.–М.: Наука, 1977.–350с.
- 24.Атанс М., Фалб П. Оптимальное управление.–М.:Физматгиз, 1968.–764с.
- 25.Ермольев Ю.М. Методы стохастического программирования.–М.: Наука, 1976.–239с.
- 26.Жук К.Д. Новые задачи моделирования больших технических систем – Электрон. моделирование, 1980, №1, с.5–12.
- 27.Тимченко А.А., Чинаев П.И. Исследование самонастраивающейся системы управления полетом ракеты с нелинейным законом самонастройки, выбираемым в зависимости от нелинейных свойств среды.–Теория автомат., 1967, вып.4,с.79–90.
- 28.Калман Р., Фалб П., Арбиб М. Очерки по математической теории систем.- М.: Мир, 1971.-400с.
- 29.Жук К.Д. Исследование задач оптимизации иерархических систем с управляемой структурой.-Киев, 1974.-Ч.1.20с.Ч.П.41с.
- 30.Жук К.Д., Тимченко А.А., Доленко Т.И. Исследование структуры и моделирование логико-динамических систем.- Киев: Наук. Думка, 1975.-197.
- 31.Жук К.Д. Вопросы системного проектирования класса логико-динамических систем.- В кн.: Методы анализа и реконструкция сложных систем: Тр. Всесоюз. Симпоз., Рига, окт.,1972 г. Рига: ИЭВТ,1972,с.27-28.
- 32.Кахаров Т. Вычислительные задачи моделирования логико-динамических систем управления на ЭЦВМ.-В кн.: Системотехника. Киев: ИК АН УССР, 1971,с.255-270.
- 33.Бусленко Н.П. Моделирование сложных систем.-М.: Наука, 1968.-355с.

- 34.Саркисян С.А., Махундов В., Минаев Э.С. и др. Большие технические системы.-М.:Наука, 1977.-350с.
- 35.Вилкас Э. Некоторые вопросы совмещения цепей.-В кн.: Проблемы планирования и управления экономическими целенаправленными системами/Под ред. К.А.Багриновского, Е.А.Бердянт.-Новосибирск: Наука, 1972.-226с.
- 36.Бир Стаффорд. Кибернетика и управление производством.-2-е изд.-М.: Наука, 1965.-391с.
- 37.Жук К.Д. Координируемость сложных систем многоцелевого функционирования.-В кн.: Вопросы теории и системного проектирования некоторых классов сложных систем управления. Киев: Наук.думка, 1973, с.34-56.
- 38.Терно О.Р. Гибридные функции-новый метод описания сложных систем.-Изв. АН СССР.Сер.Техн.кибернетика, 1965, №6,с.13-18.
- 39.Терно О.Р., Лихфельд Ю.И. Заметка о гибридных функциях.-В кн.:Системотехника. Киев:ИК АН УССР, 1971, с.319-330.
- 40.Жук К.Д., Путятин В.Г., Тимченко А.А. Логико-динамические модели в задачах синтеза пусковых алгоритмов управления.-В кн.: Системотехника. Киев: ИК АН УССР, 1970,с.72-83.
- 41.Жук К.Д., Тимченко А.А., Денисенко В.А. Синтез алгоритма управления логико-динамической системой при помощи самонастраивающейся системы.-В кн.: Системотехника. Киев: ИК АН УССР, 1971, с.208-218.
- 42.Гилл А. Введение в теорию конечных автоматов.-М.: Наука, 1966.-272с.
- 43.Глушков В.М. Синтез цифровых автоматов.-М.: Физматгиз, 1962.-476с.
- 44.Уолли С., Рид И. Асинхронные конечные автоматы-новый класс систем регулирования.-Ракет. техника и космонавтика, 1969, №3, с.13-21.

- 45.Ивахненко А.Г. Самонастраивающиеся системы автоматического регулирования.—Киев: Изд.-во АН УССР, 1957.—51с.
- 46.Месарович М., Мако Д., Такахара И. Теория иерархических многоуровневых систем.—М. : Мир, 1973.—344с.
- 47.Жук К.Д. Метод синтеза структур многосвязных систем по графам сигналов.—Автоматика, 1965, №6, с.31—39.
- 48.Мэзон С., Циммерман Г. Электронные цепи, сигналы и системы. — М.:изд-во иностр. лит.,1963.—619с.
- 49.Глушков В.М. Введение в КСУ. —Киев: Техніка, 1974.—319с.
50. Жук К.Д. Вопросы аксиоматического подхода к построению теории ЛДСУ.—Автоматика, 1971, №6, с.23—32.
- 51.Шатровский Л.И. Управляемые системы с разрывными связями и пути оптимизации управления ими.—В кн.: Математические методы моделирования в космических исследованиях. М.: Наука, 1971, с.17—21.
- 52.Михалев И.А., Окаемов Б.Н., Павлина И.Г. и др. Системы автоматического управления самолетом.—М.: Машиностроение, 1971.—464с.
- 53.Флеров Ю.А. Многоуровневые динамические игры.—Докл. АН СССР, 1969, 187, №5, с.1002—1004.
- 54.Lienard, Chipart. Sur la signe de la partie reelle des racines d'une equation algebrigue.—Bure and Appl Math., 1974, 10.№6, p.291—346.
- 55.Исследование операций: Методол. аспекты / Под ред. А.А. Ляпунова.— М.: Наука, 1972.—136с.
- 56.Чернецкий В.И., Дидук Г.А., Потапенко А.А. Математические методы и алгоритмы исследования автоматических систем. — М.;Л.:Энергия, 1970. —374 с.
- 57.Бусленко Н.П., Калашников В.В., Коваленко И.Н. Лекции по теории сложных систем. — М.: Сов.радио, 1973.—438с.
- 58.Березин И.С.,Жидков Н.П. Методы вычислений.—2-е изд. — М.:Физматгиз, 1959.—Т.2.620с.

- 59.Гантмахер Ф.Р. Теории матриц.— 3-е изд.—М.: Наука, 1967.—575с.
- 60.Чинаев П.И., Зайцев Г.Ф., Костюк В.И. Основы автоматического управления и регулирования.— Киев: Техника, 1975.—302с.
- 61.Зубов В.Н. Лекции по теории управления.—Л.:Изд-во Ленингр. ун-та, 1975.—241с.
- 62.Мемсуров М.С. Об исследовании автоматических систем при помощи матричных преобразований.—Автоматика и телемеханика, 1961, 22, №11, с.37–42.
- 63.Каххаров Т., Жук К.Д. Создание алгоритма и исследование устойчивости логико-динамических систем управления.—В кн.: Вопросы вычислительной и прикладной математики. Ташкент: Изд-во АН УзССР, 1973, с.47-50.
- 64.Каххаров Т., Жук К.Д. Об устойчивости нелинейных логико-динамических систем управления.—В кн.: Вопросы кибернетики. Ташкент:Изд.-во АН УзССР, 1973, с.71–79.
- 65.Агеев М.И.,Алик В.П., Галис Р.М, Марков Ю.И. Библиотека алгоритмов 16-506: Справоч. Пособие.—М.:Сов.радио,1975. Вып. 1. 176с.
- 66.Воеводин В.В. Численные методы алгебры: Теория и алгоритмы.— М.:Наука, 1966.—248с.
- 67.Березин И.С., Жидков Н.П. Методы вычислений.— 2-е изд.— М.:Физматгиз, 1959—Т.1.464с.
- 68.Бреуэр М.А. Последние достижения в области автоматизации проектирования и анализа цифровых систем.—Тр. Ин-та инженеров по электрон. и радиоэлектронике, 1972, 60, №1, с.19-49.
- 69.Качаров К.А., Пилютик А.П. Введение в техническую теорию устойчивости движения.—М. : Физматгиз, 1962.—243с.
- 70.Харченко В.С., Скляр В.В., Тарасюк О.М. Методы моделирования и оценки качества и надежности программного обеспечения.—Харьков.— 2004.—с.158.

71. Коновал Д.Г., Каяшев А.И., Митрофанов В.Г., Соломенцев Ю.М., Схиртладзе А.Г. Технология и проектирование автоматизированных станочных систем. – Москва. – 1998. – с. 235.
72. Кунцевич В.М. Управление в условиях неопределенности: гарантированные результаты в задачах управления и идентификации. – Киев Наукова Думка. – 2006. – 260 с.
73. А. с. 149998 СССР, Класс 49 g, 10₀₁. Одноцилиндровый инерционный гидравлический пресс / И. В. Кононов, И. Б. Матвеев, Р. Г. Давыдова (СССР). – № 751160/25-8 ; заявлено 09.11.61; Опубл. 01.09.62, Бюл. № 17. – 3 с. : ил.
74. А. с. 337259 СССР, В28в 1/08. Способ изготовления пористых керамических изделий / И. П. Горлов, Б. Х. Седунов, В. Н. Соков (СССР). – № 14850000/29-33 ; заявлено 03.11.70 ; опубл. 04.06.72, Бюл. № 15. – 2 с.
75. А. с. 429877 СССР, М. Кл. В21j 9/06. Гидравлический инерционный вибропресс / И. В. Матвеев, Р. Д. Искович-Лотоцкий, В. А. Пишенин (СССР). – № 1793622/25-27 ; заявлено 31.05.72 ; опубл. 30.05.74, Бюл. № 20. – 2 с.
76. А. с. 515657 СССР, М. Кл.² В30в 15/02. Пресс-форма для вибрационного прессования порошка / Ю. В. Трухан, Ю. М. Шуляков (СССР). – № 2037917/29-33 ; Заявлено 25.06.74 ; опубл. 12.07.76, Бюл. № 26. – 3 с. : ил.
77. А. с. 577076 СССР, М. Кл.² В21j 9/06. Вибропресс с импульсным гидроприводом / Р. Д. Искович-Лотоцкий и др. (СССР). – № 2310997/25-27 ; заявлено 06.01.76 ; опубл. 25.10.77, Бюл. № 39. – 4 с. : ил.
78. А. с. 595550 СССР, М. Кл.² F15B21/12. Гидравлический вибратор / Р. Д. Искович-Лотоцкий, Б. Н. Пентюк (СССР). – № 2319462/25-28 ; заявлено 30.01.76 ; опубл. 28.02.78, Бюл. № 12. – 3 с. : ил.

79. А. с. 601509 СССР, М. Кл.² F16k17/10. Клапан для гидроимпульсного привода / И. В. Матвеев, Р. Д. Искович-Лотоцкий (СССР). – № 2126930/25-08 ; заявлено 21.04.75 ; опубл. 05.04.78, Бюл. № 13. – 2с.: ил.
80. А. с. 626296 СССР, М. Кл.² F16k17/10. Импульсный клапан / Р. Д. Искович-Лотоцкий, Н. Н. Вирник (СССР). – № 2464462/25-06 ; заявлено 21.03.77 ; опубл. 30.09.78, Бюл. № 36. – 3 с. : ил.
81. А. с. 647112 СССР, М. Кл.² B28B1/08. Виброплита к устройству для прессования изделий с подвижных материалов / Р. Д. Искович-Лотоцкий и др. (СССР). – № 2425399/29-33 ; заявлено 01.12.76 ; опубл. 15.02.79, Бюл. № 6. – 2 с. : ил.
82. А. с. 658320 СССР, М. Кл.² F15B21/12. Гидроимпульсный клапан / И. Б. Матвеев, Р. Д. Искович-Лотоцкий, Р.Р. Обертюх (СССР). – № 2141603/25-06 ; заявлено 29.05.75 ; опубл. 25.04.79, Бюл. № 15. – 3 с. : ил.
83. Азарова А. О. Математичні моделі та методи оцінювання фінансового стану підприємства / А. О. Азарова, О. В. Рузакова. — Вінниця : ВНТУ, 2010. — 172 с.
84. Аксенов П. Н. Оборудование литейных цехов / П. Н. Аксенов – М. : Машиностроение, 1977. – 510 с.
85. Артоболевский И. И. О машинах вибрационного действия / И. И. Артоболевский, А. П. Бессонов, А. В. Шляхтин – М. : Изд. АН СССР, 1956. – 47 с.
86. Бабичев А. П. Вибрационная обработка деталей / А. П. Бабичев – [2-е изд., перераб. и доп.]. – М. : Машиностроение, 1974. – 134 с.
87. Баранов В. Н. Электрогидравлические и гидравлические вибрационные машины / В. Н. Баранов, Ю. Е. Захаров – М. : Машиностроение, 1977. – 326 с.

- 88.Бартенев В. Д. Разработка машины для съема плодов со срезанных ветвей облепихи / В. Д. Бартенев // Ползуновский альманах. – 2005. – № 1. – С. 16–17.
- 89.Беликов О. А. Системно-структурный метод проектирования автоматических формовочных машин / О. А. Беликов // Литейное производство. – 1978. – №4. – С. 10–13.
- 90.Бальшин М. С. Научные основы порошковой металлургии и металлургии волокна / М. С. Бальшин – М. : Металлургия, 1972. – 336 с.
- 91.Бауман В. А. Вибрационные машины и процессы в строительстве / В. А. Бауман, И. И. Быховский – М. : Высшая школа, 1977. – 255с.
- 92.Башта Т. М. Гидропривод и гидропневмоавтоматика / Т. М. Башта – М. : Машиностроение, 1972. – 354 с.
- 93.Белов С. В. Пористые металлы в машиностроении / С. В. Белов – М. : Машиностроение, 1981. – 247 с.
- 94.Берник П. С. Конвеєрні вібраційні машини для оздоблювально-зміцнювальної обробки / П. С. Берник, І. П. Паламарчук – К. : Вища школа, 1996. – 237 с.
- 95.Богоявленский К. Н. Исследование электрогидро-импульсного прессования огнестойких порошковых материалов Огнеупоры. / К.Н. Богоявленский, В.А. Кузнецов // – 1982. - №9. – С. 45 – 49.
- 96.Бондаренко В. П. Прессование заготовок с твердосплавных смесей / В. П. Бондаренко, Г. Ю. Фрейдин, В. С. Мендельсон – Киев : Техніка, 1974. – 140 с.
97. Бочаров Ю. А. Основы общей теории гидравлических кузнечно-штамповочных машин / Ю. А. Бочаров // Машины и технология обработки металлов давлением.–1980. – Тр. МВТУ № 335. – С. 12–40.
98. Бочаров Ю. А. Структурно-морфологическая классификация кузнечно-штамповочных машин и установок / Ю. А. Бочаров // Кузнечно-штамповочное производство. – 1974. – №11. – С. 30 – 35.

99. Быховский И.И. Основы теории вибрационной техники. / И.И. Быховский // – М. : Машиностроение, 1969.–363 с.
100. Варсанофьев В. Д. Некоторые вопросы теории и расчета вибрационных машин с гидравлическим приводом / В. Д. Варсанофьев, И. Ф. Гончаревич Изд. ИГД. им. А. А. Скочинского, 1965.–178 с.
101. Вербицкий В. И. Современные тенденции совершенствования встряхивающих формовочных машин / В. И. Вербицкий, О. И. Гайн // Литейное производство. – 1983. – № 3.– С. 30–31.
102. Веселовська Н. Р. Задачі моделювання технологічних систем / Н. Р. Веселовська, В. Б. Струтинський, О. В. Зелінська // Всеукраїнський НТЖ «Вібрації в техніці та технологіях». – 2007. - № 2(47). - С.16-20.
103. Веселовська Н. Р. Задачі математичного моделювання для оптимізації технологічних систем / Н. Р. Веселовська, В. М. Лисогор, О. В. Зелінська // Вісник Тернопільського державного технічного університету. – 2006. – № 1. – Том 11.–С. 143-151.
104. Веселовська Н. Р. Загальні принципи підвищення надійності та ефективності діагностування обладнання з гідроімпульсним приводом / Н. Р. Веселовська, О. В. Зелінська // Всеукраїнський науково-технічний журнал «Промислова гідравліка і пневматика» – 2012. – №1(35). – С.103–108.
105. Веселовська Н. Р. Створення адекватної моделі системи підтримки прийняття рішень / Н. Р. Веселовська, О. В. Зелінська // Матеріали III Міжнародної науково-практичної конференції «Інновації та трансфер технологій: від ідеї до прибутку» – Дніпропетровськ, 2012. – С. 189-190.
106. Вибрации в технике : справочник в 6-ти т. / Ред. совет: В. Н. Челомей (пред.). – М. : Машиностроение, 1981. – Т.4: Вибрационные процессы и машины / под ред. Е. Е. Лавендела. – 1981. – 509 с

107. Вибрации на производстве / [Э. А. Дрогичина, Н. Н. Малинская, Н. Б. Метлина и др.]. – М. : Медицина, 1971. – 238 с.
108. Вибрационное прессование огнеупорных масс / В. М. Ям, В. Т. Олейник, У. Ф. Степанов и др. // Огнеупоры. – 1973. – № 10. – С. 1–7.
109. Вибрационное уплотнение карбид-кремниевых масс / В. М. Ям, Н. К. Евсеенко, В. Т. Олейник и др. // Огнеупоры. – 1966. – № 10. – С. 30–33.
110. Вибрационные машины в строительстве и производстве : Справочник / [под ред. В. А. Баумана, И. И. Быховского и Б. Г. Гольштейн). – М. : Машиностроение, 1970. – 548 с.
111. Вибропрессование фасонных огнеупорных изделий / В. Т. Олейник, В. М. Ям, Н. И. Выростков и др. // Огнеупоры. – 1981. – № 4. – С. 27–31.
112. Вибропрессование фасонных шамотных изделий / В. Т. Олейник, В. М. Ям, У. У. Власов и др. // Огнеупоры. – 1978. – № 6. – С. 31–34.
113. Виброформование заготовок для получения изделий из монолитного поликристаллического карбида кремния на Броварском заводе порошковой металлургии / [В. В. Иващенко, Г. Г. Гнесин, Э. Я. Попиченко и др.]. // Порошковая металлургия. – 1976. – № 7. – С. 96–99.
114. Влияние технологических факторов на характеристики брикетов из огнеупорных материалов при гидродинамическом прессовании / [Л. Н. Афанасьев, С. Г. Барай, О. В. Роман и др.]. // Огнеупоры. – 1983. – № 9. С. 5–9.
115. Волошин-Челпан Э. К. Определение оптимальных режимов вибрационного формования / Э. К. Волошин-Челпан, Г. Н. Петров // Тр. Всесоюз. научно-техн., конф. по металлокерамическим материалам и изделиям. – Ереван, 1973. – С. 105–108.

116. А. с. 1199434 СССР, МКИ В 22 С 15/30. Встряхивающая формовочная машина / Р. Д. Искович-Лотоцкий, Н. Н. Вирный (СССР). – №3453888/22–03 ; заявлено 18.06.82 ; опубл. 23.12.85, Бюл. № 47. – 2 с.
117. Гнесин Г. Г. Беспористый поликристаллический карбид кремния и его применения в технике высоких температур / Г. Г. Гнесин // Тугоплавкие карбиды. – Киев : ИПМ АН УССР, 1970. – 38 с.
118. Гончаревич И. Ф. Теория вибрационной техники и технологии / И. Ф. Гончаревич, К. В. Фролов. – М. : Наука, 1981. – 320 с.
119. Горбатов А. В. Перспективы использования виброволновых методов обработки сырья в пищевой промышленности. / А. В. Горбатов, А. В. Гноевой, Ю. А. Мачихин. – М. – 1985. – 407 с.
120. Горский А. И. Расчет машин и механизмов автоматических линий литейного производства / А. И. Горский. – М. : Машиностроение, 1978. – 551 с.
121. Гидропривод сваепогружающих и грунтоуплотняющих машин / [М. Е. Иванов, И. Б. Матвеев, Р. Д. Искович-Дотоцкий и др.]. – М. : Машиностроение, 1977. – 174 с.
122. Джонс В. Д. Основы порошковой металлургии. Прессование и спекание / В. Д. Джонс ; пер. с англ. – М. : Мир, 1965. – 326 с.
123. Джарратано Д. Ж. Экспертные системы: принципы разработки и программирование / Дж. Джарратано, Г. Райли : пер. с англ. – М. О «И. Д. Вильямс», 2007. – 1152 с.
124. Дородный Б. А. Исследования и разработки технологии изостатического прессования крупногабаритных огнеупорных изделий : автореф. дис. на здобуття ступеня канд. техн. наук: спец. 05.17.11. – Свердловск, 1978. – 21 с.
125. Дородный Б. А. Вибровакуумное уплотнение тонкодисперсных порошков и его влияние на гидростатическое прессование / Б. А. Дородный, Е. У. Дегтярева // Огнеупоры. – 1977.

– № 8. – С. 32–38.

126. Живов Л. И. Кузнечно-штамповочное оборудование. Молоты. Ротационные машины. Импульсные штамповочные устройства / Л. И. Живов, А. Г. Овчинников. – Киев: Вища школа, 1972. – 279 с.
127. Зелінська О. В. Актуальні проблеми підвищення надійності та ефективності діагностування сільськогосподарської техніки / О. В. Зелінська, Р. Д. Іскович-Лотоцький, Н. Р. Веселовська // Збірник наукових праць, серія «Галузеве машинобудування, будівництво» – Полтава. – 2009. – Випуск 3(25), Том 2. – С. 91–94.
128. Зелінська О.В. Математичні задачі моделювання для оптимізації структур та параметрів технологічних і інформаційних систем. / О. В. Зелінська // Матеріали II міжнародної науково-методичної конференції «Інноваційний розвиток: економіка, управління, інформаційні технології, право, освіта». – Вінниця, 2014. – С. 95–99.
129. Зелінська О. В. Методи діагностування вібраційних машин. / О. В. Зелінська // Збірник наукових праць ВНАУ. Серія: Технічні науки. – 2010. – Випуск № 5. – С. 23–27.
130. Зелінська О. В. Методи діагностування ресурсу роботи гідроімпульсного приводу вібропресової машини. / О. В. Зелінська // Сучасні вібраційні технології, машини, обладнання та динамічні процеси в них. – 2013. – [http:// www.vibrokonf.vntu.edu.ua](http://www.vibrokonf.vntu.edu.ua)
131. Зелинская О. В. Оценка эффективности и надежности функционирования гидроимпульсных приводов. / О. В. Зелинская // Журнал актуальной научной информации. «Аспирант и соискатель». – Москва, 2013. – №6.– С. 150–155.
132. Іскович-Лотоцький Р. Д. Автоматизація процесу діагностування вібраційних машин з гідроімпульсним приводом / Р. Д. Іскович-Лотоцький, Н. Р. Веселовська, О. В. Зелінська // Міжнародна наук. технічна конф. «Автоматизація: проблеми, ідеї, рішення». – Севастополь : Видавництво СевНТУ, 2009. – С. 203–205.

133. Іскович-Лотоцький Р. Д. Сучасний стан впровадження безвідходних та маловідходних технологій з використанням вібрацій / Р. Д. Іскович-Лотоцький, Н. Р. Веселовська, О. В. Зелінська // Збірник наукових праць III Міжнародної науково-технічної конференції ТК-2014 «Прогресивні напрямки розвитку технологічних комплексів» – ЛНТУ, 2014. – С. 28–30.
134. Іскович-Лотоцький Р. Д. Підвищення ефективності функціонування вібропреса з гідроімпульсним приводом / Р. Д. Іскович-Лотоцький, Н. Р. Веселовська, О. В. Зелінська // Всеукраїнський НТЖ «Вібрації в техніці та технологіях». – 2015. – № 2(78). – С. 75–79.
135. Иванов М. Е. Специальная аппаратура управления короткоходовыми возвратно-поступательными и вращательными перемещениями / М. Е. Иванов, Р. Д. Искович-Лотоцкий, И. В. Коц – М. : НИИМаш, 1982. – 52 с.
136. Иващенко В. В. Влияние инерционного нагружения на процесс вибрационного уплотнения порошковых материалов / В. В. Иващенко // Порошковая металлургия. – 1972. – № 5. – С. 18 – 21.
137. Иващенко В. В. Исследование некоторых параметров и особенностей вибрационного уплотнения порошковых материалов : дис. на соиск. науч. степени канд. техн. наук : 0.171. – Киев, 1966. – 223 с.
138. Іскович-Лотоцький Р. Д. Разработка, теоретическое и экспериментальное исследование новой конструкции вибропрес-молота для прессования деталей из материала на основе карбида кремния: дис. канд. техн. наук: 05.03.05 / Іскович-Лотоцький Ростислав Дмитрович – М.: 1974. – 213 с.
139. Іскович-Лотоцький Р. Д. Вибрационные прессы / Р. Д. Іскович-Лотоцький, И. Б. Матвеев – М. : НИИМаш, 1979. – 50 с.

140. Искович-Лотоцкий Р. Д. Машины вибрационного и виброударного действия / Р. Д. Искович-Лотоцкий, И. В. Матвеев, В. А. Крат. – Киев : Техніка, 1982. – 208 с.
141. Искович-Лотоцкий Р. Д. Экспериментальное исследование рабочих режимов виброударного прессования / Р. Д. Искович-Лотоцкий, Б. Н. Пентюк // Кузнечно-штамповочное производство. – 1982. – № 4. – С. 33–35.
142. Полукарова З. М. Использование вибрационного уплотнения для повышения прочности прессовок / З. М. Полукарова, И. Г. Шаталова, Р. К. Юсупов, Е. Д. Щукин // Порошковая металлургия. – 1968. – № 6. – С. 54 – 56.
143. Пивоваров А. Д. Исследование и разработка технологии формования карбид- кремниевых капсул / А. Д. Пивоваров, В. М. Ям, Г. Е. Карась и др.// Огнеупоры. – 1978. – №4. – С. 10–13.
144. Искович-Лотоцький Р. Д. Автоматизований контроль якості виробів машинобудування / Р. Д. Искович-Лотоцький, Н. Р. Веселовська, О. В. Зелінська // Вісник КДПУ ім. М. Остроградського. – 2008. – Випуск 4/2008(51), частина 2. – С. 155-158.
145. Искович-Лотоцький Р. Д. Спеціальні методи і технології контролю багатокоординатного механообробного обладнання / Р. Д. Искович-Лотоцький, В. Б., Струтинський, Н. Р. Веселовська, О. В. Зелінська // Всеукраїнський науково-технічний журнал «Промислова гідроліка і пневматика». – 2009 – №2(24). – С. 83–88.
146. Искович-Лотоцький Р. Д. Управління ефективністю та надійністю технологічних процесів в гнучких інтегрованих виробничих системах / Р. Д. Искович-Лотоцький, Н. Р. Веселовська, О. В. Зелінська // Вісник НТУУ «Київський технічний інститут машинобудування». – 2009 – С. 266–270.
147. Искович-Лотоцький Р. Д. Основи теорії розрахунку та розробка процесів і обладнання для віброударного пресування : монографія /

- Р. Д. Іскович-Лотоцький – Вінниця : УНІВЕРСУМ–Вінниця, 2006. – 338 с.
148. Іскович-Лотоцький Р. Д. Розрахунок параметрів вібропресового обладнання з гідроімпульсним приводом для зневоднення вторинних продуктів переробних та харчових виробництв / Р. Д. Іскович-Лотоцький, І. В. Севостьянов // Вісник Східноукраїнського національного університету імені Володимира Даля. – 2007. – № 3 (109), Ч. 1. – С. 105–108. Іскович-Лотоцький Р. Д. Вібраційні та віброударні процеси та машини у ливарному виробництві : монографія / Р. Д. Іскович-Лотоцький, М. М. Вірник, Н. Р. Веселовська – Вінниця : УНІВЕРСУМ–Вінниця, 2007. – 198 с.
149. Жданович Г. М. Теория прессования металлических порошков / Г. М. Жданович – М. : Металлургия, 1969. – 184 с.
150. Канарчук В. Є. Надійність машин : підручник. / В. Є. Канарчук – К. : Либідь, 2003. – 424 с.
151. Кильчевский Н. А. Теория соударения твердых тел / Н. А. Кильчевский – Киев : Наукова думка, 1969. – 237 с.
152. Кононов И. В. Новые гидравлические кузнечно-прессовые машины и гидроприводы / И. В. Кононов // Кузнечно-штамповочное производство. – 1970. – № 7. – С. 26–28.
153. Корн. Г. Справочник по математике для научных работников и инженеров / Г. Корн, Т. Корн. – М. : Наука, 1974. – 831 с.
154. Кунин Н. Ф. Закономерности прессования порошков разных материалов / Н. Ф. Кунин, Б. Д. Юрченко // Порошковая металлургия. – 1964. – № 2. – С. 39 – 41.
155. Лисогор В. М. Алгоритмічна модель випадкового пошуку задач ідентифікації багатостадійного технологічного процесу. / В. М. Лисогор, С. В. Сорокун // Вісник Хмельницького університету. – 2009. – № 1. – С. 217–220.
156. Магнезиальные стаканы для скоростного разливания стали,

- изготовленные вибропрессованием / [В. М. Ям, В.В. Мирошниченко, Л. Я. Осипова и др.] // Огнеупоры. – 1978. – № 3. – С. 6–13.
157. Оборудование и технологические процессы с использованием электрогидравлического эффекта / [Г. А. Гулый, П. П. Малюшевский, Е. В. Кривицкий и др.]; под ред. Г. А. Гулого. – М. : Машиностроение, 1977. – 320 с.
158. Малюшевский П. П. Использование электрогидравлического эффекта в порошковой металлургии / П. П. Малюшевский, А. Б. Толстых // Порошковая металлургия. – 1979. – № 5. – С. 22–26.
159. Масленников И. Е. Разработка и исследование гидравлических прессов с пульсирующей нагрузкой для калибрования труб и профилей : автореф. дис. на соискателя степени канд. техн. наук : 05.04.04. / И.Е. Масленников – М., 1975. – 25 с.
160. Матвеев И. Б. Гидропривод машин ударного и вибрационного действия / И. Б. Матвеев – М. : Машиностроение, 1974. – 184 с.
161. Матвеев И. Б. Гидравлический вибропресс-молот для порошковой металлургии / И. Б. Матвеев, Р. Д. Искович-Лотоцкий // Кузнечно-штамповочное производство. – 1976. – № 3. – С. 25–28.
162. Матвеев И. Б. Новые виды элементов управления гидроимпульсным поводом / И.Б. Матвеев, Р. Д. Искович-Лотоцкий // Вестник машиностроения. – 1976. – № 3. – С. 19–21.
163. Мудров В. И. Методы обработки измерений / В. И. Мудров, В. Л. Кушко – М. : Советское радио, 1976. – 192 с.
164. Муха И. М. Вибрационное прессование, твердосплавных порошков / И. М. Муха, М. Н. Довбищук, А. Л. Мороз // Технология и организация производства. – 1969. – № 3. – С. 83–85.
165. Об опыте изготовления погружных стаканов и стопор-моноблоков методом гидростатического прессования / В. Г. Сиваш, Е. Д. Посохова, Н. Т. Дырда и др. // Огнеупорные материалы для

- оптического стекловарения : сб. тр. Госуд. оптич. ин-та. – М., 1977. – С. 26–27.
166. Оборудование и технологические процессы с использованием электрогидравлического эффекта / Г. А. Гулый, П. П. Малюшевский, Е. В. Кривицкий и др. ; под ред. Г. А. Гулого. – М. : Машиностроение, 1977. – 320 с.
167. Опытнo-промышленный образец вибропресса усилием 20 тс. / И. Б. Матвеев, Р. Д. Искович-Лотоцкий, Р. Р. Обертюх и др. // Кузнечно-штамповочное производство. – 1978. – № 5. – С. 34–37.
168. Паламарчук Ігор Павлович. Науково-технічні основи розроблення енергозберігаючих вібромашин механічної дії харчових і переробних виробництв : автореф. дис ... д-ра техн. наук : 05.18.12 / Ігор Павлович Паламарчук; В.о. Київ. нац. ун-т харч. технологій.– К. : Б.в., 2008.– 44 с.
169. Пановко Я. Г. Введение в теорию механических колебаний / Я. Г. Пановко – М. : Наука, 1980. – 270 с.
170. Патент № 88882 Україна МПК (2014.01) G01M 13/00. Спосіб визначення ефективності функціонування гідроімпульсного приводу тривалої дії / Веселовська Н. Р, Зелінська О. В., Рубаненко О. О.; заявник і патентовласник Вінницький національний технічний університет. – № U2013 09935 : заявл. 09.08.2013 ; опубл. 10.04.2014, Бюл. № 7
171. Пат. 34261А Україна, МПК6 B28B 3/00. Спосіб вібропресування формувальних сумішей / Р. Д. Іскович-Лотоцький, М. М. Вірник, О. А. Рагозін, В. О. Пішенін (Україна). заявл. 18.06.99 ; опубл. 15.02.2001, Бюл. № 2. – 5 с.
172. Пат. 34261А Україна, МПК6 B28B 3/00. Спосіб вібропресування формувальних сумішей / Р. Д. Іскович-Лотоцький, М. М. Вірник, О. А. Рагозін, В. О. Пішенін ; заявл. 18.06.99 ; опубл. 15.02.2001, Бюл. № 2. – 5 с.

173. Платонов Б. П. Пневматика или гидравлика / Б. П. Платонов // Литейное производство. – 1997. – № 3. – С. 11–12.
174. Попильский Р. Я. Прессование керамических порошков / Р. Я. Попильский, Ф. В. Кондрашов – М. : Metallurgy, 1968. – 272 с.
175. Потураев В. Н. Исследование процесса вырубki на гидравлических прессах с применением вибраций / В. Н. Потураев, А. Ф. Миронюк // Кузнечно-штамповочное производство. – 1969. – № 11. – С. 21–22.
176. Потураев В. Н. Некоторые результаты исследования вибрационного уплотнения металлических порошков на вибропрессах / В. Н. Потураев, А. Ф. Миронюк, Н. Н. Пендраковский // Порошковая металлургия. – 1975. – № 12. – С. 23–27.
177. Принципы классификации процессов формования порошковых материалов / К. Н. Богоявленский, В. А. Кузнецов, К. К. Мартенс и др. // Порошковая металлургия. – 1985. – № 6. – С. 89–94.
178. Прищепионок Л. А. Исследование экспериментального образца пресса для вибрационной зачистки модели ИМ-61 / Л. А. Прищепионок, В. А. Мельник, А. Л. Рягузов // Кузнечно-штамповочное производство. – 1972. – № 9. – С. 27–28.
179. Производство огнеупоров полусухим способом. / [А. К. Карклит, А. П. Ларин, С. А. Лосев и др.] – М. : Metallurgy, 1972. – 368 с.
180. Промышленное освоение виброударного формования карбид-кремниевых огнеупоров. / В. М. Ям, В. Т. Олейник, С. В. Плиневский и др. // Огнеупоры. – 1970. – № 8. – С. 7–12.
181. Радомысельский И. Д. Конструкционные порошковые материалы / И. Д. Радомысельский, Г. Г. Сердюк, Н. И. Щербань –

- Киев : Техніка, 1985. – 152 с.
182. Радомысельский И. Д. Производство и использование порошковых деталей в легкой промышленности / И. Д. Радомысельский, Д. С. Ясь, В. И. Павленко – Киев : Техніка, 1982. – 175 с.
183. Разработка и исследование вибрационного импульсного прессы для формообразования заготовок порошковой металлургии : отчет НИР / Винницкий политехнический институт. Руководитель И. Б. Матвеев. – № ГР76026910 ; Инв № Б491804. – Винница, 1976. – 122 с.: ил. – Отв. исполн. Р. Д. Искович-Лотоцкий.
184. Разработка, исследование и изготовление опытных образцов вибрационного оборудования для прессования огнеупорных масс : отчет о НИР / Винницкий политехнический институт. – Руководитель Р. Д. Искович-Лотоцкий. – № ГР76095626 ; Инв. №Б857130. – Винница, 1979. – 93 с.: ил. – Отв. исполн. Б. Н. Пентюк.
185. Раковский В. С. Порошковая металлургия в машиностроении : Справочное пособие / В. С. Раковский, В. В. Саклинский – М. : Машиностроение, 1972. – 126 с.
186. Растригин Л. А. Введение в идентификацию объектов управления / Л. А. Растригин, Н. Е. Маджаров. – М.:Энергия, 1997. – 215с.
187. Ротштейн О. П. Інтелектуальні технології ідентифікації: нечіткі множини, генетичні алгоритми, нейронні мережі / О. П. Ротштейн – Вінниця : УНІВЕРСУМ – Вінниця, 1999. – 320 с.
188. Свойства порошков металлов, тугоплавких соединений и спеченных материалов : информационный справочник. – Киев : Наукова думка, 1978. – 184 с.
189. Серенсен С. В. Динамика машин для испытания на усталость / С. В. Серенсен, М. Э. Гарф, В. А. Кузьменко – М. : Машиностроение, 1967. – 460 с.
190. Сторожев М. В. Теория обработки металлов давлением /

- М. В. Сторожев, Е. А. Попов – М. : Машиностроение 1977. – 423 с.
191. Тябликов Ю. Е. Гидравлическое возбуждение переменных нагрузок и движений в технике механических испытаний : дис. докт. техн. наук : 01.02.06. / Тябликов Ю. Е. – М, 1974. -2 т.: Т1. – 287 с.; Т2. – 267 с.
192. Тихонов А. Н. Уравнения математической физики / А. Н. Тихонов, А. А. Самарский – М. : Наука, 1966. – 724 с.
193. Урьев Н.Б. Физико-химическая механика в технологии дисперсных систем. –М.: Знание, 1975. –65 с.
194. Файкин В. И. Исследование процесса вибрационного формования пористых труб из порошковых материалов. : автореф. дис. на соискателя канд. техн. наук : спец. 0.171. / В.И. Файкин – М., 1970. – 21 с.
195. Файкин В. И. О влиянии пригрузки при виброформовании изделий из порошковых материалов / В. И. Файкин, Г. Н. Петров, Э. К. Волошин-Челпан // Уч. записки Моск. ин-та тонкой хим. технол. – 1970. – № 2. – С. 202–207.
196. Формовочная машина: А.с. 1683860 СССР, МКИ В 22 С 15/14. / В. И. Вербицкий, А. В. Коньшев (СССР). – № 4749634/02 ; заявлено 14.10.89 ; опубл. 15.10.91, Бюл. № 38. – 3 с.
197. Ям В. М. Плотность изделий из полусухих карбид-кремниевых масс при виброударном уплотнении / В. М. Ям, В. Ф. Степанов, Н. К. Евсеенко // Огнеупоры. – 1969. – № 11. – С. 17–19.
198. D. Hofman. Handbuch Messtechnik und Qualitätssicherung. Zweite stark bearbeitete Auflage. – Berlin: VEB Verlag Technik, 1981. – 472 S.
199. Nelson D. B. Performance and methodology of a digital random vibration control system // “Institute of Environmental Scienses”, Annual technical meeting Proccedinge, 1973. – P. 187-191.
200. Iskovich-Lototkiy R. D. Dynamics of vibration mashines by

hydroimpulsive drive / R. D. Iskovich-Lototkiy. – Poznan: Vibration in physical systems, 1996. – P. 1170-1173.

201. Iskovich-Lototkiy R. D. New hydraulic and pneumatic vibration exiters of technology mashines / R. D. Iskovich-Lototkiy. – Poznan: Vibration in physical systems, 1998. – P. 818-812.

ДОДАТКИ

Додаток А

Значення параметрів $a...k_1$ для показників ефективності

Таблиця А.1

Значення параметрів $a...k_1$, надані експертами $s_1...s_3$, для показників x_2, x_3, x_4, x_9 .

Показники	Експерти	Параметри					
		a	a₁	c	c₁	k	k₁
X_2 (лінійний середньостатистичний розмір частинок матеріалу, н/м)	s₁	0	75	81	85	95	100
	s₂	0	77	83	86	98	100
	s₃	0	73	76	84	92	100
	$\sum k_3$	0	75	80	85	95	100
X_3 (геометричний фактор початкового стану заготовки)	s₁	0	1	1,3	1,4	1,6	1,8
	s₂	0	1	1,23	1,25	1,4	1,5
	s₃	0	1	1,07	1,1	1,2	1,2
	$\sum k_3$	0	1	1,2	1,25	1,4	1,5
X_4 (площа відкритої поверхні, м ²)	s₁	0	0,0019	0,0020	0,0021	0,0023	0,0024
	s₂	0	0,0019	0,0020	0,0021	0,0023	0,0024
	s₃	0	0,0019	0,0020	0,0021	0,0023	0,0024
	$\sum k_3$	0	0,0019	0,0020	0,0021	0,0023	0,0024
X_9 (інерційна маса, кг)	s₁	0	1	1,2	1,2	1,4	1,5
	s₂	0	0,9	1,1	1,1	1,4	1,5
	s₃	0	1,1	1,3	1,3	1,4	1,5
	$\sum k_3$	0	1	1,2	1,2	1,4	1,5

Значення параметрів $a...k_1$ для показників ефективності

Таблиця А.2

Значення параметрів $a...k_1$, надані експертами $s_1...s_3$, для показників x_1, x_5, x_6, x_7, x_9 .

Показники	Експерти					Параметри					
		a	a ₁	b	b ₁	c	c ₁	d	d ₁	k	k ₁
X ₁ (щільність заготовки, г/см ³)	s ₁	0	2,1	2,2	2,3	2,4	2,5	2,6	2,7	2,8	2,9
	s ₂	0	2	2,1	2,2	2,3	2,4	2,5	2,6	2,7	2,8
	s ₃	0	2,2	2,3	2,4	2,5	2,6	2,7	2,8	2,9	2,9
	$\sum k_3$	0	2,1	2,2	2,3	2,4	2,5	2,6	2,7	2,8	2,9
X ₅ (питоме статичне зусилля, МПа)	s ₁	0	0,1	0,1	0,1 2	0,12	0,13	0,13	0,14	0,15	0,15
	s ₂	0	0,09	0,1	0,1 1	0,12	0,13	0,13	0,14	0,14	0,15
	s ₃	0	0,1	0,1 1	0,1 2	0,12	0,13	0,13	0,14	0,14	0,15
	$\sum k_3$	0	0,1	0,1	0,1 1	0,12	0,13	0,13	0,14	0,14	0,15
X ₆ (тривалість ударного імпульсу, с)	s ₁	0	0,00 080	0,0 008 1	0,0 00 81	0,00 082	0,00 082	0,000 83	0,000 84	0,000 85	0,00086
	s ₂	0	0,00 081	0,0 008 4	0,0 00 84	0,00 085	0,00 085	0,000 86	0,000 86	0,000 70	0,00079
	s ₃	0	0,00 09	0,0 009 3	0,0 00 93	0,00 091	0,00 091	0,000 92	0,000 91	0,001 16	0,00110
	$\sum k_3$	0	0,00 084	0,0 008 5	0,0 00 85	0,00 086	0,00 086	0,000 87	0,000 87	0,000 88	0,00089
X ₇ (повний час робочого ходу, с)	s ₁	0	3	3,5	3,8	4	4,2	4,5	5	5,5	6
	s ₂	0	3	3,2	3,4	3,5	4,5	4,8	5	6	7
	s ₃	0	3	3,5	4	4,5	5	5,5	6	6,5	8
	$\sum k_3$	0	3	3,4	3,7	4,6	4,6	4,9	5,3	6,3	7

X8 (енергія одно циклового гідроаккумулятора, Дж)	s ₁	0	34,2	35	36	40,0	48,2	50	55	60,0	85,8
	s ₂	0	33,6	33, 5	36	35,5	40,4	43	52	60,0	91,6
	s ₃	0	35	35	42	44,5	56	57	58	60	80
	$\sum k3$	0	34,2	34, 5	38	40,0	48,2	50	55	60,0	85,8

Додаток Б

Матриці знань

Таблиця Б.1

Матриця знань для робочого режиму Y_2

x_5	x_6	x_7	Y_2
B	B	B	B
C	B	B	
B	C	B	
B	B	C	
BC	B	B	
B	BC	B	
C	BC	B	
C	BC	C	BC
B	C	BC	
BC	BC	BC	
BC	B	C	
C	B	BC	
B	C	C	
C	BC	C	
C	C	BC	C
H	C	B	
C	BC	C	
C	HC	BC	
C	C	H	
C	C	H	
C	C	H	
C	C	H	HC

С	Н	С	Н
Н	С	С	
С	НС	Н	
Н	ВС	НС	
НС	Н	ВС	
Н	Н	Н	
С	Н	Н	
Н	НС	Н	
Н	Н	С	
Н	С	Н	
Н	Н	НС	

Таблица Б.2

Матриця знань для системи ІІІ (машина) Y_3

x_8	x_9	Y_3
В	В	В
ВС	В	
В	С	
ВС	С	
С	В	
В	С	
ВС	В	ВС
В	С	
НС	В	
ВС	С	
С	В	

Н	В	
В	С	С
ВС	С	
С	С	
Н	С	
ВС	Н	
НС	С	
НС	С	НС
С	Н	
ВС	С	
НС	Н	
ВС	С	
НС	С	
Н	Н	Н
С	Н	
НС	С	
ВС	Н	
Н	Н	
С	Н	

Матриця знань для оцінки технологічного комплексу Z

Y ₁	Y ₂	Y ₃	Z
----------------	----------------	----------------	---

B	B	B	B
B	B	BC	
BC	B	B	
B	BC	B	
B	B	C	
C	B	B	
C	BC	B	BC
B	BC	C	
C	B	BC	
BC	C	BC	
BC	BC	C	
C	B	B	
C	C	C	C
C	BC	C	
C	C	BC	
BC	C	C	
C	C	B	
B	C	C	
C	C	H	HC
C	H	C	
H	C	C	
C	HC	H	
H	BC	HC	
HC	H	BC	

H	H	H	H
C	H	H	
H	HC	H	
H	H	C	
H	C	H	
HC	H	H	

Додаток В

Розрахункові значення оцінювальних параметрів, функцій належності, логічні рівняння груп показників та графічне відображення результатів теоретичних досліджень

Таблиця В.1

Розрахункові значення оцінювальних параметрів

x_1	x_2	x_3	x_4	x_5	x_6	x_7	x_8	x_9
0,3	100	1,3	0,0022	0,119	0,0085	2,51	38,4	1

Визначимо значення функцій належності параметрів x_2, x_3, x_4, x_9 для трьох нечітких термів і зведемо їх до табл. В.2.

Таблиця В.2

Значення функцій належності параметрів x_2, x_3, x_4, x_9

№	x_i	$\mu^l(x_i)$	$\mu^f(x_i)$	$\mu^r(x_i)$
2	0,3	0	0	1
3	1,3	0,48	0,836	0,915
4	0,0022	0,48	0,723	0,949
9	1	1	0,8	0,667

Визначимо значення функцій належності параметрів x_1, x_5, x_6, x_7, x_8 для п'яти нечітких термів і зведемо їх до табл. В.3.

Таблиця В.3

Значення функцій належності параметрів x_1, x_5, x_6, x_7, x_8

№	x_i	$\mu^H(x_i)$	$\mu^{HC}(x_i)$	$\mu^C(x_i)$	$\mu^{BC}(x_i)$	$\mu^B(x_i)$
1	0,3	1	0,091	0,082	0,0746	0,068
5	0,119	0,68	0,816	0,990	0,099	0,091
6	0,00085	0,837	1	0,985	0,972	0,958
7	2,51	1	0,694	0,484	0,448	0,694
8	38,4	0,935	0,991	1,012	0,729	0,585

Логічні рівняння груп показників

$$\mu^B(Y_1) = \mu^B(x_1) * \mu^B(x_2) * \mu^B(x_3) * \mu^B(x_4) \vee \mu^{BC}(x_1) * \mu^B(x_2) * \mu^B(x_3) * \mu^B(x_4) \vee \mu^C(x_1) * \mu^B(x_2) * \mu^B(x_3) * \mu^B(x_4) \vee \mu^B(x_1) * \mu^B(x_2) * \mu^C(x_3) * \mu^B(x_4) \vee \mu^B(x_1) * \mu^B(x_2) * \mu^B(x_3) * \mu^C(x_4) \vee \mu^B(x_1) * \mu^C(x_2) * \mu^B(x_3) * \mu^B(x_4);$$

$$\mu^B(Y_1) = 0,068 * 1 * 0,915 * 0,949 \vee 0,0746 * 1 * 0,915 * 0,949 \vee 0,082 * 1 * 0,915 * 0,929 \vee 0,068 * 1 * 0,836 * 0,949 \vee 0,068 * 1 * 0,915 * 0,949 \vee 0,068 * 0 * 0,915 * 0,949 = 0,068 \vee 0,0746 \vee 0,082 \vee 0,068 \vee 0,068 \vee 0,068 = 0,082$$

$$\mu^{BC}(Y_1) = \mu^{BC}(x_1) * \mu^B(x_2) * \mu^C(x_3) * \mu^B(x_4) \vee \mu^{BC}(x_1) * \mu^C(x_2) * \mu^C(x_3) * \mu^B(x_4) \vee \mu^{BC}(x_1) * \mu^B(x_2) * \mu^C(x_3) * \mu^C(x_4) \vee \mu^B(x_1) * \mu^C(x_2) * \mu^B(x_3) * \mu^C(x_4) \vee \mu^C(x_1) * \mu^C(x_2) * \mu^B(x_3) * \mu^B(x_4) \vee \mu^C(x_1) * \mu^B(x_2) * \mu^B(x_3) * \mu^C(x_4);$$

$$\mu^{BC}(Y_1) = 0,0746 * 1 * 0,836 * 0,949 \vee 0,0746 * 0 * 0,836 * 0,949 \vee 0,0746 * 1 * 0,836 * 0,723 \vee 0,068 * 0 * 0,915 * 0,723 \vee 0,082 * 0 * 0,915 * 0,949 \vee 0,082 * 1 * 0,915 * 0,723 = 0,0746 \vee 0 \vee 0,0746 \vee 0,068 \vee 0 \vee 0,082 = 0,082;$$

$$\mu^C(Y_1) = \mu^B(x_1) * \mu^C(x_2) * \mu^C(x_3) * \mu^H(x_4) \vee \mu^{BC}(x_1) * \mu^C(x_2) * \mu^C(x_3) * \mu^C(x_4) \vee \mu^C(x_1) * \mu^C(x_2) * \mu^C(x_3) * \mu^C(x_4) \vee \mu^{HC}(x_1) * \mu^C(x_2) * \mu^{HC}(x_3) * \mu^C(x_4) \vee \mu^H(x_1) * \mu^B(x_2) * \mu^C(x_3) * \mu^B(x_4) \vee \mu^C(x_1) * \mu^H(x_2) * \mu^C(x_3) * \mu^C(x_4);$$

$$\mu^C(Y_1) = 0,068 * 0 * 0,836 * 0,48 \vee 0,0746 * 0 * 0,836 * 0,949 \vee 0,082 * 0 * 0,836 * 0,723 \vee 0,091 * 0 * 0,48 * 0,723 \vee 1 * 1 * 0,836 * 0,949 \vee 0,082 * 0 * 0,836 * 0,723 = 0 \vee 0 \vee 0 \vee 0 \vee 0,836 \vee 0 = 0,836;$$

$$\mu^{HC}(Y_1) = \mu^{BC}(x_1) * \mu^{HC}(x_2) * \mu^H(x_3) * \mu^H(x_4) \vee \mu^C(x_1) * \mu^C(x_2) * \mu^H(x_3) * \mu^H(x_4) \vee \mu^{HC}(x_1) * \mu^C(x_2) * \mu^H(x_3) * \mu^C(x_4) \vee \mu^H(x_1) * \mu^H(x_2) * \mu^C(x_3) * \mu^C(x_4) \vee \mu^{HC}(x_1) * \mu^C(x_2) * \mu^C(x_3) * \mu^H(x_4) \vee \mu^{BC}(x_1) * \mu^H(x_2) * \mu^H(x_3) * \mu^C(x_4);$$

$$\mu^{HC}(Y_1) = 0,0746 * 0 * 0,48 * 0,48 \vee 0,082 * 0 * 0,48 * 0,48 \vee 0,091 * 0 * 0,48 * 0,723 \vee 1 * 0 * 0,836 * 0,723 \vee 0,091 * 0 * 0,836 * 0,48 \vee 0,0746 * 0 * 0,48 * 0,723 = 0 \vee 0 \vee 0 \vee 0 \vee 0 \vee 0 = 0;$$

$$\begin{aligned}\mu^H(Y_1) &= \mu^H(x_1) * \mu^H(x_2) * \mu^H(x_3) * \mu^H(x_4) \vee \mu^C(x_1) * \mu^H(x_2) * \mu^H(x_3) * \mu^H(x_4) \vee \mu^{HC}(x_1) * \mu^H(x_2) * \mu^H(x_3) * \mu^H(x_4) \vee \mu^H(x_1) * \mu^H(x_2) * \mu^H(x_3) * \mu^C(x_4) \\ &\vee \mu^H(x_1) * \mu^C(x_2) * \mu^H(x_3) * \mu^H(x_4) \vee \mu^H(x_1) * \mu^H(x_2) * \mu^C(x_3) * \mu^H(x_4); \\ \mu^H(Y_1) &= 1 * 0 * 0,48 * 0,949 \vee 0,082 * 0 * 0,48 * 0,48 \vee 0,091 * 0 * 0,48 * 0,48 \vee 1 * 0 * 0,048 * 0,723 \vee \\ &1 * 0 * 0,48 * 0,723 \vee 1 * 0 * 0,48 * 0,48 = 0 \vee 0 \vee 0 \vee 0 \vee 0 \vee 0 = 0;\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}\mu^e(Y_2) &= \mu^e(x_5) * \mu^e(x_6) * \mu^e(x_7) \vee \mu^c(x_5) * \mu^e(x_6) * \mu^e(x_7) \vee \mu^e(x_5) * \mu^c(x_6) * \mu^e(x_7) \vee \mu^e(x_5) * \mu^e(x_6) * \mu^c(x_7) \\ &\vee \mu^{ec}(x_5) * \mu^e(x_6) * \mu^e(x_7) \vee \mu^e(x_5) * \mu^{ec}(x_6) * \mu^e(x_7);\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}\mu^e(Y_2) &= 0,091 * 0,958 * 0,694 \vee 0,990 * 0,958 * 0,694 \vee 0,091 * 0,985 * 0,694 \vee 0,091 * 0,958 * 0,484 \\ &\vee 0,099 * 0,958 * 0,694 \vee 0,091 * 0,972 * 0,694 = 0,091 \vee 0,694 \vee 0,091 \vee 0,484 \vee 0,099 \vee 0,091 = 0,694;\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}\mu^{ec}(Y_2) &= \mu^c(x_5) * \mu^{ec}(x_6) * \mu^e(x_7) \vee \mu^e(x_5) * \mu^{ec}(x_6) * \mu^c(x_7) \vee \mu^e(x_5) * \mu^c(x_6) * \mu^{ec}(x_7) \vee \mu^{ec}(x_5) * \mu^{ec}(x_6) * \mu^{ec}(x_7) \\ &\vee \mu^{ec}(x_5) * \mu^e(x_6) * \mu^c(x_7) \vee \mu^c(x_5) * \mu^e(x_6) * \mu^{ec}(x_7);\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}\mu^{ec}(Y_2) &= 0,990 * 0,972 * 0,694 \vee 0,091 * 0,972 * 0,484 \vee 0,091 * 0,985 * 0,448 \vee 0,099 * 0,972 * 0,448 \\ &\vee 0,099 * 0,985 * 0,484 \vee 0,990 * 0,958 * 0,448 = 0,694 \vee 0,091 \vee 0,091 \vee 0,099 \vee 0,099 \vee 0,448 = 0,694;\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}\mu^c(Y_2) &= \mu^e(x_5) * \mu^c(x_6) * \mu^c(x_7) \vee \mu^c(x_5) * \mu^{ec}(x_6) * \mu^c(x_7) \vee \mu^c(x_5) * \mu^c(x_6) * \mu^{ec}(x_7) \vee \mu^H(x_5) * \mu^c(x_6) * \mu^e(x_7) \\ &\vee \mu^c(x_5) * \mu^{ec}(x_6) * \mu^c(x_7) \vee \mu^c(x_5) * \mu^{hc}(x_6) * \mu^{ec}(x_7);\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}\mu^c(Y_2) &= 0,091 * 0,985 * 0,484 \vee 0,990 * 0,972 * 0,484 \vee 0,990 * 0,985 * 0,448 \vee 0,099 * 0,985 * 0,694 \\ &\vee 0,990 * 0,972 * 0,484 \vee 0,990 * 1 * 0,448 = 0,091 \vee 0,484 \vee 0,448 \vee 0,099 \vee 0,484 \vee 0,448 = 0,484;\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}\mu^{hc}(Y_2) &= \mu^c(x_5) * \mu^c(x_6) * \mu^H(x_7) \vee \mu^c(x_5) * \mu^H(x_6) * \mu^c(x_7) \vee \mu^H(x_5) * \mu^c(x_6) * \mu^c(x_7) \vee \mu^c(x_5) * \mu^{hc}(x_6) * \mu^H(x_7) \\ &\vee \mu^H(x_5) * \mu^{ec}(x_6) * \mu^{hc}(x_7) \vee \mu^{hc}(x_5) * \mu^H(x_6) * \mu^{ec}(x_7);\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}\mu^{hc}(Y_2) &= 0,990 * 0,985 * 1 \vee 0,990 * 0,837 * 0,484 \vee 0,68 * 0,985 * 0,484 \vee 0,990 * 1 * 1 \\ &\vee 0,68 * 0,972 * 0,694 \vee 0,816 * 0,837 * 0,448 = 0,985 \vee 0,484 \vee 0,484 \vee 0,990 \vee 0,68 \vee 0,448 = 0,990;\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}\mu^H(Y_2) &= \mu^H(x_5) * \mu^H(x_6) * \mu^H(x_7) \vee \mu^c(x_5) * \mu^H(x_6) * \mu^H(x_7) \vee \mu^H(x_5) * \mu^{ec}(x_6) * \mu^H(x_7) \vee \mu^H(x_5) * \mu^H(x_6) * \mu^c(x_7) \\ &\vee \mu^H(x_5) * \mu^c(x_6) * \mu^H(x_7) \vee \mu^H(x_5) * \mu^H(x_6) * \mu^{hc}(x_7)\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}\mu^H(Y_2) &= 0,68 * 0,837 * 1 \vee 0,990 * 0,837 * 1 \vee 0,68 * 1 * 1 \vee 1 * 0,837 * 0,484 \\ &\vee 0,68 * 0,985 * 1 \vee 0,68 * 0,837 * 0,694 = 0,68 \vee 0,837 \vee 0,68 \vee 0,484 \vee 0,68 \vee 0,68 = 0,837\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}\mu^e(Y_3) &= \mu^e(x_8) * \mu^e(x_9) \vee \mu^{ec}(x_8) * \mu^e(x_9) \vee \mu^e(x_8) * \mu^c(x_9) \vee \mu^{ec}(x_8) * \mu^c(x_9) \\ &\vee \mu^c(x_8) * \mu^e(x_9) \vee \mu^e(x_8) * \mu^c(x_9);\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}\mu^e(Y_3) &= 0,585 * 0,667 \vee 0,729 * 0,667 \vee 0,585 * 0,8 \vee 0,729 * 0,8 \\ &\vee 1,012 * 0,667 \vee 0,585 * 0,8 = 0,585 \vee 0,667 \vee 0,585 \vee 0,729 \vee 0,667 \vee 0,585 = 0,729;\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}\mu^{ec}(Y_3) &= \mu^{ec}(x_8) * \mu^e(x_9) \vee \mu^e(x_8) * \mu^c(x_9) \vee \mu^{HC}(x_8) * \mu^B(x_9) \vee \mu^{ec}(x_8) * \mu^c(x_9) \\ &\vee \mu^c(x_8) * \mu^B(x_9) \vee \mu^H(x_8) * \mu^e(x_9);\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}\mu^{ec}(Y_3) &= 0,729 * 0,667 \vee 0,585 * 0,8 \vee 0,991 * 0,667 \vee 0,729 * 0,8 \\ &\vee 1,012 * 0,667 \vee 0,935 * 0,667 = 0,667 \vee 0,585 \vee 0,667 \vee 0,729 \vee 0,667 \vee 0,667 = 0,729;\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}{}^c(Y_3) &= \mu^e(x_8) * \mu^c(x_9) \vee \mu^{ec}(x_8) * \mu^c(x_9) \vee \mu^c(x_8) * \mu^c(x_9) \vee \mu^H(x_8) * \mu^c(x_9) \\ &\vee \mu^{ec}(x_8) * \mu^H(x_9) \vee \mu^{HC}(x_8) * \mu^c(x_9);\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}\mu^c(Y_3) &= 0,585 * 0,8 \vee 0,729 * 0,8 \vee 1,012 * 0,8 \vee 0,935 * 0,8 \\ &\vee 0,729 * 1 * \vee 0,991 * 0,8 = 0,585 \vee 0,729 \vee 0,8 \vee 0,729 \vee 0,8 = 0,8;\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}\mu^{hc}(Y_3) &= \mu^{hc}(x_8) * \mu^c(x_9) \vee \mu^c(x_8) * \mu^h(x_9) \vee \mu^{bc}(x_8) * \mu^h(x_9) \vee \mu^{hc}(x_8) * \mu^h(x_9) \\ &\vee \mu^{bc}(x_8) * \mu^c(x_9) \vee \mu^{hc}(x_8) * \mu^c(x_9);\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}\mu^{hc}(Y_3) &= 0,991 * 0,8 \vee 1,012 * 1 \vee 0,729 * 1 \vee 0,991 * 1 \\ &\vee 0,729 * 0,8 \vee 0,991 * 0,8 = 0,8;\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}\mu^h(Y_3) &= \mu^h(x_8) * \mu^h(x_9) \vee \mu^c(x_8) * \mu^h(x_9) \vee \mu^{hc}(x_8) * \mu^c(x_9) \vee \mu^{bc}(x_8) * \mu^h(x_9) \\ &\vee \mu^h(x_8) * \mu^h(x_9) * \vee \mu^c(x_8) * \mu^h(x_9);\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}\mu^h(Y_3) &= 0,935 * 1 \vee 1,012 * 1 \vee 0,991 * 0,8 \vee 0,729 * 1 \\ &\vee 0,935 * 1 * \vee 1,012 * 1 = 1 \vee 1 \vee 0,8 \vee 0,729 \vee 0,935 \vee 1 = 1;\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}\mu^b(Z) &= \mu^B(Y_1) * \mu^b(Y_2) * \mu^b(Y_3) \vee \mu^B(Y_1) * \mu^b(Y_2) * \mu^{bc}(Y_3) \vee \mu^{BC}(Y_1) * \mu^b(Y_2) * \mu^b(Y_3) \vee \mu^B(Y_1) * \mu^{bc}(Y_2) * \mu^b(Y_3) \\ &\vee \mu^B(Y_1) * \mu^b(Y_2) * \mu^c(Y_3) \vee \mu^c(Y_1) * \mu^b(Y_2) * \mu^b(Y_3);\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}\mu^b(Z) &= 0,082 * 0,694 * 0,729 \vee 0,082 * 0,694 * 0,729 \vee 0,082 * 0,694 * 0,729 \vee 0,082 * 0,694 * 0,729 \\ &\vee 0,082 * 0,694 * 0,8 \vee 0,836 * 0,694 * 0,729 = 0,082 \vee 0,082 \vee 0,082 \vee 0,082 \vee 0,082 \vee 0,694 = 0,694;\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}\mu^h(Z) &= \mu^c(Y_1) * \mu^{bc}(Y_2) * \mu^b(Y_3) \vee \mu^B(Y_1) * \mu^{bc}(Y_2) * \mu^c(Y_3) \vee \mu^c(Y_1) * \mu^b(Y_2) * \mu^{bc}(Y_3) \vee \mu^{BC}(Y_1) * \mu^c(Y_2) * \mu^{bc}(Y_3) \\ &\vee \mu^{BC}(Y_1) * \mu^{bc}(Y_2) * \mu^c(Y_3) \vee \mu^c(Y_1) * \mu^b(Y_2) * \mu^b(Y_3);\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}\mu^h(Z) &= 0,836 * 0,694 * 0,729 \vee 0,082 * 0,694 * 0,8 \vee 0,836 * 0,694 * 0,729 \vee 0,082 * 0,484 * 0,729 \vee \\ &\vee 0,082 * 0,694 * 0,8 \vee 0,836 * 0,694 * 0,729 = 0,694 \vee 0,082 \vee 0,694 \vee 0,082 \vee 0,082 \vee 0,694 = 0,694;\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}\mu^3(Z) &= \mu^c(Y_1) * \mu^c(Y_2) * \mu^c(Y_3) \vee \mu^c(Y_1) * \mu^{bc}(Y_2) * \mu^c(Y_3) \vee \mu^c(Y_1) * \mu^c(Y_2) * \mu^{bc}(Y_3) \vee \mu^{BC}(Y_1) * \mu^c(Y_2) * \mu^c(Y_3) \vee \\ &\vee \mu^c(Y_1) * \mu^c(Y_2) * \mu^b(Y_3) \vee \mu^B(Y_1) * \mu^c(Y_2) * \mu^c(Y_3);\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}\mu^3(Z) &= 0,836 * 0,484 * 0,8 \vee 0,836 * 0,694 * 0,8 \vee 0,836 * 0,484 * 0,729 \vee 0,082 * 0,484 * 0,8 \vee \\ &\vee 0,836 * 0,484 * 0,729 \vee 0,082 * 0,484 * 0,8 = 0,484 \vee 0,694 \vee 0,484 \vee 0,082 \vee 0,484 \vee 0,082 = 0,694;\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}\mu^K(Z) &= \mu^c(Y_1) * \mu^c(Y_2) * \mu^h(Y_3) \vee \mu^c(Y_1) * \mu^h(Y_2) * \mu^c(Y_3) \vee \mu^h(Y_1) * \mu^c(Y_2) * \mu^c(Y_3) \vee \mu^c(Y_1) * \mu^{hc}(Y_2) * \mu^h(Y_3) \vee \\ &\vee \mu^h(Y_1) * \mu^{bc}(Y_2) * \mu^{hc}(Y_3) \vee \mu^{hc}(Y_1) * \mu^h(Y_2) * \mu^{bc}(Y_3);\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}\mu^K(Z) &= 0,836 * 0,484 * 1 \vee 0,836 * 0,837 * 0,8 \vee 0 * 0,484 * 0,8 \vee 0,836 * 0,990 * 1 \vee \\ &\vee 0 * 0,694 * 0,8 \vee 0 * 0,837 * 0,729 = 0,484 \vee 0,8 \vee 0 \vee 0,836 \vee 0 \vee 0 = 0,836;\end{aligned}$$

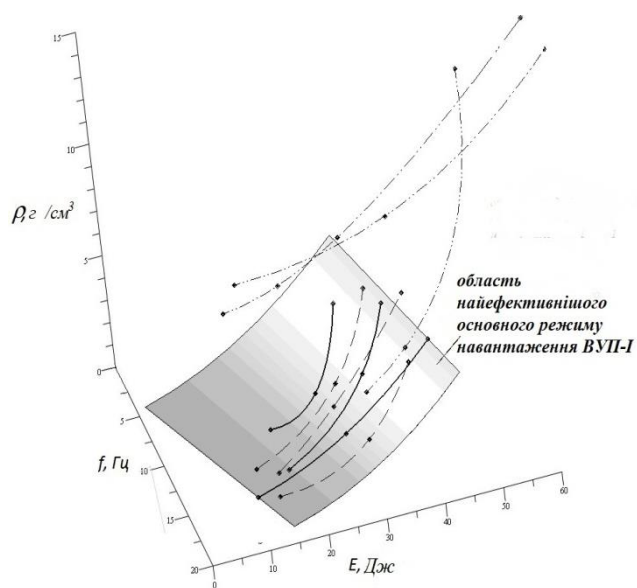
$$\begin{aligned}\mu^h(Z) &= \mu^h(Y_1) * \mu^h(Y_2) * \mu^h(Y_3) \vee \mu^c(Y_1) * \mu^h(Y_2) * \mu^h(Y_3) \vee \mu^h(Y_1) * \mu^{hc}(Y_2) * \mu^h(Y_3) \vee \mu^h(Y_1) * \mu^h(Y_2) * \mu^c(Y_3) \vee \\ &\vee \mu^h(Y_1) * \mu^c(Y_2) * \mu^h(Y_3) \vee \mu^{hc}(Y_1) * \mu^h(Y_2) * \mu^h(Y_3);\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}\mu^h(Z) &= 0 * 0,837 * 1 \vee 0,834 * 0,837 * 1 \vee 0 * 0,990 * 1 \vee 0 * 0,837 * 0,8 \vee \\ &\vee 0 * 0,484 * 1 \vee 0 * 0,837 * 1 = 0 \vee 0,836 \vee 0 \vee 0 \vee 0 \vee 0 = 0,834\end{aligned}$$

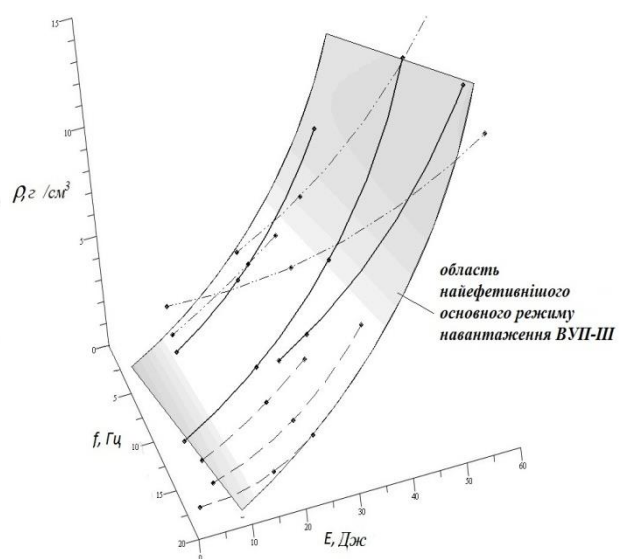
Отримаємо:

$$\max \mu^{Z_j}(x_1, \dots, x_9) = \max \mu^{Z_3}(x_1, \dots, x_9) = \max \{0,694, 0,694; 0,694; 0,836; 0,836\} = 0,836$$

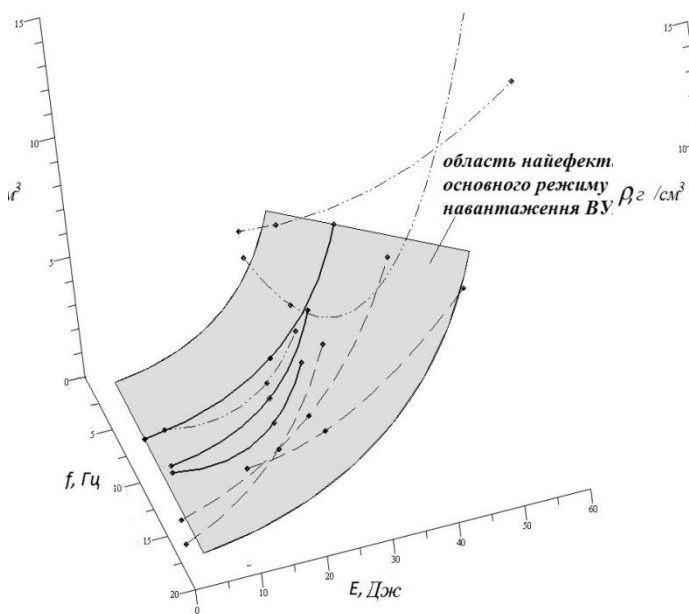
Графічне відображення результатів теоретичних досліджень



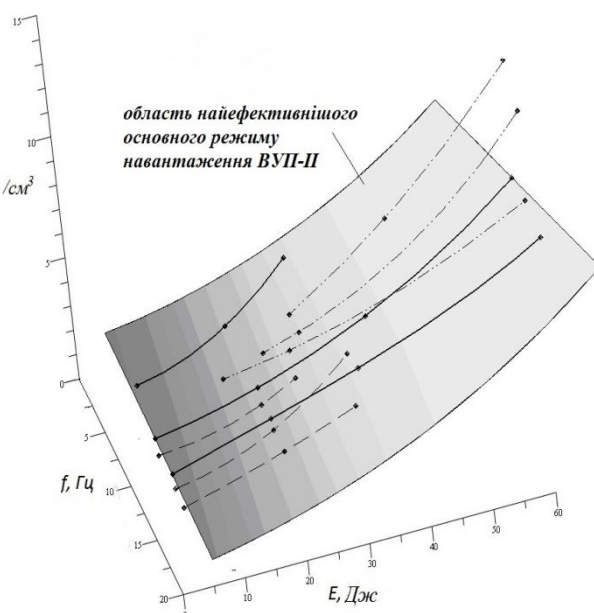
а)



б)



в)



г)

Додаток Г

Програмне забезпечення розрахунку основних параметрів технологічного комплексу

```
<!DOCTYPE html>

<html>

    <head>

        <meta charset="UTF-8">

        <title>ТЕСТ :: Віб्रोпресове та вібраційне обладнання з гідроімпульсним приводом</title>

        <!-- <script src="http://cdn.mathjax.org/mathjax/latest/MathJax.js?config=TeX-AMS-
MML_HTMLorMML"></script>-->

        <script src="mathjax/MathJax.js?config=TeX-AMS-MML_HTMLorMML"></script>

        <style type="text/css">

            html {font-family:Tahoma; font-size:10pt;}

            .base {height:24px; line-height:24px; vertical-align:baseline;}

            .bold {font-weight:bold;}

            .center {text-align:center;}

            table {border-collapse:collapse;}

            table td {border:solid 1px #ccc; padding:2px 4px; min-height:22px;}

            input[type=text] {border:solid 1px #aaf; padding:2px;}

            .error {border:solid 1px #f00 !important;}

            .result {color:#33f; font-weight:bold; text-align:center;}

            .hidden {display:none;}

            .span-inline {display:inline-block;}

        </style>

        <script>

            var step1_changed = true, step2_changed = true;

            var m_zag_def = 0.44, m_zag,//масса навешивания, 0.44, 0.055, кг

                                a_def = 0.0000001, a,//линейный размер частиц ее материала, м, 10..200 нм =
0.00000001..0.0000002

                                ro_z0_def = 1430, ro_z0,//значение средней плотности заготовки в начальный
момент ВУП, кг/м^3, 2000; M1 1430; M2 1650; M3 1450; M4 1500

                                ro_zk_def = 2360, ro_zk,//... в конечный момент ВУП; M1 2360; M2 2350; M3 2000;
M4 2930

                                H_z0_def = 97413000, H_z0,//модуль условной упругости в начальный момент
ВУП; МПа; M1 97413000; M2 61213000; M3 90311000; M4 54721000
```

```

H_zk_def = 259026000, H_zk, //... в конечный момент ВУП; МПа; M1 259026000;
M2 162547000; M3 206320000; M4 425321000

P_ud_def = 300000, P_ud, //удельное усилие статического прижима, 0.1..1.0 МПа,
при <0.3 МПа для порошковых материалов с меньшим содержанием связывающих веществ (до 10%)

S_zag_def = 0.0024, S_zag, //площадь открытой поверхности заготовки со стороны
пуансона - ~0.0024 м^2

ИВПМ

m_1_def = 1, m_1, //параметр, учитывающий сводную массу рабочего участка

m_1_delta_def = 0, m_1_delta,

vidr_def = false, vidr,

c_gr_def = 80000000, c_gr,

c_gr_delta_def = 2000000, c_gr_delta,

x_pk_dop_def = 0.006, x_pk_dop,

S_pk_def = 1, S_pk,

S_pk_delta_def = 0, S_pk_delta,

p_1_def = 16000000, p_1,

H_pr_def = 0.0000000006, H_pr,

S_pl_def = 0.0151, S_pl,

x_def_def = 0.02, x_def;

var g = 9.80665, h_z0, h_zk, m_2, tau_0, n_r, c_zk, n, F_zmax, P_max, K_i, E_x, c_y, T_c, f_p, E_a,
c_p, m_sum, omega_n, W_a, m_dop, m_3, alpha_p, n_p, c_zh, x_pk, c_v;

var iter = 0;

function byId(id) {

    return document.getElementById(id);

}

function addClass(element, clazz) {

    var reg = new RegExp("(^\\s)" + clazz + "(\\s|$)", "g");

    if (reg.test(element.className)) return;

    element.className = (element.className + " " + clazz).replace(/\\s+/g, " ").replace(/(^ |
$)/g, "");

}

function removeClass(element, clazz) {

    var reg = new RegExp("(^\\s)" + clazz + "(\\s|$)", "g");

    element.className = element.className.replace(reg, "$1").replace(/\\s+/g, "

").replace(/(^ | $)/g, "");

}

function removeClassMass(elements, clazz) {

    for (var i = 0; i < elements.length; i++) {

```

```

        removeClass(byId(elements[i]), clazz);

    }

}

function insert(id, value) {

    var element = byId(id);

    if (element.tagName.toLowerCase() == "input") {

        element.value = value;

    } else {

        element.innerHTML = value;

    }

}

function getNumValue(element) {

    if (typeof element == "string") {

        element = byId(element);

    }

    return parseFloat(element.value);

}

function calcAndVer(id) {

    var element = byId(id), value = getNumValue(element);

    if (!isFinite(value) || value < 0) {

        addClass(element, "error");

        return false;

    }

    return true;

}

function step1_default() {

    removeClassMass(["ti_m_zag", "ti_a", "ti_ro_z0", "ti_ro_zk", "ti_H_z0", "ti_H_zk",
"ti_P_ud", "ti_S_zag", "ti_m_1"], "error");

    insert("ti_m_zag", m_zag_def);

    insert("ti_a", a_def * 1000000000);

    insert("ti_ro_z0", ro_z0_def);

    insert("ti_ro_zk", ro_zk_def);

    insert("ti_H_z0", (H_z0_def / 1000000).toFixed(3));

    insert("ti_H_zk", (H_zk_def / 1000000).toFixed(3));

    insert("ti_P_ud", (P_ud_def / 1000000).toFixed(3));

    insert("ti_S_zag", S_zag_def);

```

```

        insert("ti_m_1", m_1_def);

        byId("cb_vidr").checked = vidr_def;

        step1_change();

    }

    function step2_default() {

        removeClassMass(["ti_m_1_delta", "ti_c_gr", "ti_m_1_delta", "ti_x_pk_dop",
"ti_S_pk", "ti_S_pk_delta", "ti_p_1", "ti_H_pr", "ti_S_pl", "ti_x_def"], "error");

        insert("ti_m_1_delta", m_1_delta_def)

        insert("ti_c_gr", (c_gr_def / 1000000).toFixed(3));

        insert("ti_c_gr_delta", (c_gr_delta_def / 1000000).toFixed(3))

        insert("ti_x_pk_dop", x_pk_dop_def);

        insert("ti_S_pk", S_pk_def);

        insert("ti_S_pk_delta", S_pk_delta_def)

        insert("ti_p_1", (p_1_def / 1000000).toFixed(3));

        insert("ti_H_pr", (H_pr_def * 10000000000).toFixed(3));

        insert("ti_S_pl", S_pl_def);

        insert("ti_x_def", x_def_def);

        step2_change();

    }

    function step1_change(element) {

        if (element != undefined) {

            removeClass(element, "error");

        }

        step1_changed = true;

        insert("td_h_z0", "");

        insert("td_h_zk", "");

        insert("td_m_2", "");

        insert("td_tau_0", "");

        insert("td_n_r", "");

        insert("td_n", "");

        insert("td_c_zk", "");

        insert("td_F_zmax", "");

        insert("td_P_max", "");

        insert("td_K_i", "");

        insert("td_E_x", "");

        insert("td_c_y", "");

```

```

        insert("td_T_c", "");

        insert("td_f_p", "");

    }

    function step2_change(element) {

        if (element != undefined) {

            removeClass(element, "error");

        }

        step2_changed = true;

        insert("td_E_a", "");

        insert("td_c_p", "");

        insert("td_m_sum", "");

        insert("td_omega_n", "");

        insert("td_W_a", "")

        insert("td_m_dop", "");

        insert("td_m_3", "");

        insert("td_alpha_p", "");

        insert("td_n_p", "");

        insert("td_c_zh", "");

        insert("td_x_pk", "");

        insert("td_c_v", "");

        //insert("td_x_pk2", "");

        //insert("td_x_pk_dop2", "");

        insert("spCompar", "")

        byId("btIteration").disabled = true;

    }

    function vidr_change() {

        if (byId("cb_vidr").checked) {

            addClass(byId("td_vidr_not"), "hidden");

            removeClass(byId("td_vidr_yes"), "hidden");

        } else {

            addClass(byId("td_vidr_yes"), "hidden");

            removeClass(byId("td_vidr_not"), "hidden");

        }

        step1_change();

    }

```

```

function step1_calculate() {

    step1_changed = false;

    removeClassMass(["ti_m_zag", "ti_a", "ti_ro_z0", "ti_ro_zk", "ti_H_z0", "ti_H_zk",
"ti_P_ud", "ti_S_zag", "ti_m_1"], "error");

    if (calcAndVer("ti_m_zag") && calcAndVer("ti_a") && calcAndVer("ti_ro_z0") &&
calcAndVer("ti_ro_zk") && calcAndVer("ti_H_z0") && calcAndVer("ti_H_zk") && calcAndVer("ti_P_ud") && calcAndVer("ti_S_zag") &&
calcAndVer("ti_m_1")) {

        m_zag = getNumValue("ti_m_zag");

        a = getNumValue("ti_a") / 1000000000;

        ro_z0 = getNumValue("ti_ro_z0");

        ro_zk = getNumValue("ti_ro_zk");

        H_z0 = getNumValue("ti_H_z0") * 1000000;

        H_zk = getNumValue("ti_H_zk") * 1000000;

        P_ud = getNumValue("ti_P_ud") * 1000000;

        S_zag = getNumValue("ti_S_zag");

        m_1 = getNumValue("ti_m_1");

        vidr = byId("cb_vidr").checked;

        h_z0 = m_zag / S_zag / ro_z0;

        h_zk = m_zag / S_zag / ro_zk;

        m_2 = P_ud * S_zag / g;

        tau_0 = 2 * h_z0 * h_zk / (h_z0 * Math.sqrt(H_zk / ro_zk) - h_zk *
Math.sqrt(H_z0 / ro_z0));

        n_r = (h_z0 - h_zk) / a;

        n = Math.round(n_r);

        c_zk = H_zk * S_zag / h_zk;

        F_zmax = n * P_ud * S_zag;

        P_max = n * P_ud * S_zag * (1 + m_1 / m_2);

        K_i = n * P_ud * S_zag * (1 + m_1 / m_2) * tau_0;

        E_x = K_i * K_i / 2 / (m_1 + m_2);

        c_y = Math.pow(F_zmax + m_2 * g, 2) * Math.pow(1 + m_1 / m_2, 2) / 2
/ E_x;

        if (vidr) {

            T_c = 6.5 * tau_0 + 11 * h_z0 * Math.sqrt(ro_z0 / H_z0);

            f_p = 1 / T_c;

        } else {

            T_c = 5 * tau_0 + 11 * h_z0 * Math.sqrt(ro_z0 / H_z0);

            f_p = 1 / T_c;

        }

    }
}

```

```
insert("td_h_z0", h_z0.toFixed(6));

insert("td_h_zk", h_zk.toFixed(6));

insert("td_m_2", m_2.toFixed(6));

insert("td_tau_0", tau_0.toFixed(6));

insert("td_n_r", n_r.toFixed(3));

insert("td_n", n);

insert("td_c_zk", c_zk.toFixed(3));

insert("td_F_zmax", F_zmax.toFixed(3));

insert("td_P_max", P_max.toFixed(3));

insert("td_K_i", K_i.toFixed(3));

insert("td_E_x", E_x.toFixed(3));

insert("td_c_y", c_y.toFixed(3));
```

```
<td id="td_x_pk_dop2" class="result"></td>

<td class="center">M</td>
```

```
</tr>
```

```
<tr>
```

```
<td colspan="2">Розрахункове переміщення підтримувальної конструкції</td>

<td class="bold center">\[x_{пк}]\</td>

<td id="td_x_pk2" class="result"></td>

<td class="center">M</td>
```

```
</tr>-->
```

```
<tr>
```

```
<td colspan="5" class="bold center">Крок 2. Порівняння
результатів:&nbsp;&nbsp; <span class="span-inline">\[x_{пк} \le [x]_{пк} ?\]</span>&nbsp;&nbsp; <span id="spCompar" class="span-inline
result"></span>&nbsp;&nbsp; <button id="btIteration" onclick="step3()">Тестування</button></td>
```

```
</tr>
```

```
<tr>
```

```
<td colspan="3">Кількість ітерацій для виконання умови перевірки</td>

<td id="td_iters" class="result"></td>

<td class="center">шт.</td>
```

```
</tr>
```

```
</table>
```

```
<script>
```

```
step1_default();

step2_default();
```


byId("btIteration").disabled = true;

</script>

</body>

</html>

Монографія

Веселовська Наталія Ростиславівна

Зелінська Оксана Владиславівна

**МОДЕЛІ ІНТЕГРОВАНІХ КОМП'ЮТЕРНИХ СИСТЕМ
УПРАВЛІННЯ ТЕХНОЛОГІЧНИМИ ПРОЦЕСАМИ НА ОСНОВІ
СУЧАСНИХ ІНФОРМАЦІЙНИХ ТЕХНОЛОГІЙ**

Набір і редагування авторські

Технічні редактори: *Веселовська Наталія Ростиславівна*

Зелінська Оксана Владиславівна

Верстка

Підписано до друку Формат 60х84/16.
Папір офсетний. Ризографія. Авт. арк.17
Обл.-вид. арк. . Тираж 300 прим. Зам._____.

Підготовлено до друку та видруковано
у вищому навчальному закладі
«Вінницький національний аграрний університет».
Свідоцтво про внесення до Державного реєстру ДК № 1842.
21008, м. Вінниця, вул. Сонячна, 3.