

**МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ**  
**НАЦІОНАЛЬНИЙ ТЕХНІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ УКРАЇНИ**  
**«КИЇВСЬКИЙ ПОЛІТЕХНІЧНИЙ ІНСТИТУТ імені Ігоря Сікорського»**  
Факультет інформатики та обчислювальної техніки

**ГНУЧКІ КОМП'ЮТЕРИЗОВАНІ СИСТЕМИ-4**  
Алгоритмізація та верифікація управління в гнучких  
комп'ютеризованих системах

**Методичні вказівки до виконання курсового проекту**

для студентів спеціальності  
126 “Інформаційні системи та технології”  
кафедри технічної кібернетики  
всіх форм навчання

*Рекомендовано*  
*Вченою радою факультету*  
*інформатики та обчислювальної*  
*техніки НТУУ «КПІ ім.І.Сікорського»*  
*Протокол № \_\_\_ від \_\_.\_\_.\_\_\_\_р.*

ГКС-4: Алгоритмізація та верифікація управління в гнучких комп'ютеризованих системах. Методичні вказівки до виконання курсового проекту. [Текст] / Уклад. К.Б.Остапченко.- К.: НТУУ-“КПІ ім.І.Сікорського”, 2019. - 76с.

Методичні вказівки призначені для студентів спеціальності 126 «Інформаційні системи та технології» кафедри технічної кібернетики всіх форм навчання. В посібнику наведена тематика курсового проектування, мета і завдання, вимоги до підготовки матеріалів курсового проекту, теоретичні відомості про методи розв'язання задач завдання, список рекомендованої літератури.

Укладач

К.Б. Остапченко, к.т.н., доцент

Відповідальний редактор

Рецензент

*За редакцією укладачів*

## Зміст

Вступ .....	4
1. Мета та завдання курсового проекту .....	5
2. Завдання на курсове проектування .....	5
3. Склад, обсяг і структура курсового проекту.....	9
4. Схема оцінювання курсового проекту.....	12
5. Вказівки до виконання розділів курсового проекту, щодо розв'язання задач проектування .....	13
5.1. Організація оперативного управління ГВС .....	13
5.2. Подання ГВС як об'єкта оперативного управління .....	16
5.3. Оперативне планування роботи ГВС.....	28
5.4. Організація оперативно-диспетчерського управління ГВС .....	38
5.5. Засоби моделювання дискретних процесів функціонування ГВС .	42
Список рекомендованої літератури .....	63
Додаток 1. Форма КП-2 “Титульний аркуш” .....	65
Додаток 2. Форма КП-3 “Завдання на курсове проектування” .....	67
Додаток 3. Форма КП-4 “Календарний план” .....	69
Додаток 4. Форма КП-5 “Зміст” .....	71
Додаток 5. Форма КП-6 “Відомість курсового проекту” .....	73
Додаток 6. Форма “Контрольний лист захисту курсового проекту”.....	75

## Вступ

Курсове проектування з кредитного модуля ГКС-4: "Алгоритмізація та верифікація управління в гнучких комп'ютеризованих системах" виконують студенти спеціальності 126 «Інформаційні системи та технології» денної та заочної форм навчання.

Головне призначення курсового проектування – закріплення теоретичних знань в області проектування програмно-математичного забезпечення систем оперативного управління гнучкими виробничими системами і комплексами та отримання навичок у вирішенні проблем розробки ефективного алгоритмічного забезпечення і організації надійного програмного забезпечення гнучких комп'ютеризованих систем (ГКС) в комп'ютерно-інтегрованому виробництві.

Виконання курсового проекту базується на знаннях, отриманих студентами при вивченні попередніх кредитних модулів "Проектування компонентів ГКС", "Проектування ГКС" та дисциплін "Спецрозділи математики", "Програмування", "Теорія автоматичного управління", "Моделювання процесів та систем", "Дослідження операцій". Крім того студент повинен мати навички роботи з ПЕОМ з використанням операційної системи Windows та з засобами розробки програм.

Мета та завдання курсового проектування відповідають робочій програмі кредитного модуля та пройшли апробацію на кафедрі технічної кібернетики факультету інформатики та обчислювальної техніки.

## **1. Мета та завдання курсового проекту**

Метою викладання кредитного модуля “Алгоритмізація і верифікація управління в гнучких комп’ютеризованих системах” є отримання студентами знань в області технології алгоритмізації задач управління інтегрованим виробництвом на різних рівнях його організації, а саме на рівнях від організаційного управління підприємством до технологічного управління групами чи окремими одиницями промислового обладнання виробничих підрозділів. Особливістю проблеми створення алгоритмічного та програмного забезпечення системи управління виробництвом є застосування різних за змістом та призначенням інженерних методів розв’язання комплексу задач проектування та експлуатації інтегрованого виробництва, важливою складовою частиною якого постає гнучка виробнича система (ГВС) цехового рівня.

Тому темою курсового проектування даної дисципліни є створення алгоритмічного та програмного забезпечення системи оперативного управління (СОУ) гнучким автоматизованим підрозділом (цехом, ділянкою, лінією). За змістом завдання постає як комплексне за рахунок послідовного розв’язання взаємопов’язаних задач з розробки підсистем оперативно-календарного планування для організаційного рівня, оперативно-диспетчерського управління для технологічного рівня виробництва та імітаційного моделювання роботи ГВС для виконавчого рівня верифікації роботи устаткування.

## **2. Завдання на курсове проектування**

Основною організаційною формою ГВС на виробництві є гнучка автоматизована ділянка (ГАД). ГАД – це виробнича система, в якій реалізується автоматизоване групове багатомноменклатурне виробництво, що оперативно переналагоджується у визначеному параметричному діапазоні продукції через синхронну роботу всіх функціональних модулів за допомогою системи оперативного управління. Будь-яка ГАД має у своєму складі такі модулі:

- гнучкі виробничі модулі (ГВМ) основного технологічного устаткування (верстати, складальні машини, тощо);
- автоматизований склад (виробів, напівфабрикатів, комплектуючих, інструментів);
- автоматизовану транспортну систему.

Для забезпечення подавання виробів на ГВМ та організації їх взаємодії з автоматизованим складом в ГАД використовується автоматизована транспортна система в складі транспортних модулів та роботів-штабелерів, які мають транспортні маршрути пересування. ГВМ обов'язково мають в своєму складі вхідний та вихідний накопичувачі, в які деталі надходять для подальшої обробки згідно технології, а після завершення обробки тимчасово зберігаються для подальшого транспортування на інше технологічне устаткування. Це дозволяє спочатку привезти наступну деталь для обробки, а потім вивезти ту, що чекає на подальшу обробку. Проте, на функціонування накопичувачів та роботу ГВМ накладаються деякі обмеження, пов'язані із забезпеченням вимог до порядку ініціювання технологічної операції на устаткуванні. Це:

- транспортний модуль не може привезти наступну деталь на обробку, поки завантажений вхідний накопичувач;
- обробка деталі з вхідного накопичувача не може початися на ГВМ, поки зайнятий вихідний накопичувач;
- після завершення обробки деталь одночасно звільняє вхідний та надходить до вихідного накопичувача.

Для створення ефективно діючої СОУ ГАД необхідно в першу чергу визначити технологічні маршрути обробки деталей на ГВМ для заданого номенклатурного переліку виробів, розрахувати порядок запуску деталей у виробництво з метою визначення часу виробничого циклу і розкладу роботи технологічного устаткування, а потім на його підставі розробити графік проведення транспортних операцій задля своєчасного виконання технологічних операцій на ГВМ згідно розкладу їх роботи. Одночасно в ході складання розкладу та графіку обґрунтовується вибір достатньої кількості та призначення

(спеціалізації) ГВМ та транспортних модулів, який забезпечить гарантоване виконання розробленого виробничого циклу обробки деталей. Отримана інформація буде включати дані про початок і завершення різних операцій на ГВМ, транспортних модулях, напрям та їх призначення у пересуванні. З метою аналізу можливості реалізації розробленого розкладу та графіку роботи всього устаткування ГАД виконується сіткове моделювання виробничого процесу функціонування ГАД, яке перевіряє умови ініціювання операцій, виконання всього запланованих переліку дій у системі, повернення обладнання в початковий стан, встановлені обмеження ресурсів та інше. Крім, того виконується пошук вузьких місць, конфліктів при роботі устаткування. Дослідження завершується виробленням рекомендацій щодо усунення помилок та неточностей, які були припущені при проектуванні структури та алгоритмів функціонування ГАД.

Отже розв'язання задач курсового проекту передбачає виконання таких завдань:

№	Задачі та зміст завдання	Література
1	Розробка підсистеми оперативного обліку ГВС. Створити інформаційну базу даних з нормативно-технологічних показників подання матеріальних, інформаційних процесів і об'єктів ГВС та провести їх розрахунок.	4, Д2
2	Розробка підсистеми оперативного планування ГВС. За визначеним критерієм ефективності роботи підрозділа ГВС скласти розклад роботи технологічного устаткування в цьому підрозділі по виготовленню встановленої номенклатури продукції за оперативний інтервал часу – зміну (добу).	1, Д3, Д5, Д7, Д16

№	Задачі та зміст завдання	Література
3	<p>Розробка підсистеми оперативно-диспетчерського управління ГВС</p> <p>Розробити алгоритм організації транспортного обслуговування змінного завдання та скласти графік проведення транспортних операцій, виходячи з того, що необхідно забезпечити мінімальні відхилення від термінів завершення виконання технологічних операцій згідно з побудованого розкладу роботи технологічного устаткування.</p>	1, Д1, Д2, Д16
4	<p>Розробка підсистеми імітаційного моделювання ГВС</p> <p>Розробити сіткову модель виробничого процесу функціонування технологічного і транспортного устаткування по виготовленню встановленої номенклатури продукції та виконати її якісний аналіз з метою встановлення коректності роботи розроблених алгоритмів, графіків і розкладів.</p>	4, Д1, Д4, Д13

Вихідними даними для розв'язання цих завдань та створення автоматизованої системи управління визначаються наступні параметри виробництва:

1) Виробнича програма ГВС - представляється у вигляді номенклатурних планів, встановлених на заданий період роботи.

2) Технологічні маршрути виготовлення заданої номенклатури виробів - послідовність виконання технологічних операцій на технологічному устаткуванні, які визначаються організаційно-технологічною схемою ГВС.

3) Працемісткість (час виконання) основних технологічних операцій (обробки, складання, контролю тощо).

4) Транспортні маршрути перевезення одиниць матеріальних потоків (виробів, інструмента тощо), які визначаються структурно-компонувальною схемою ГВС.



5) Час виконання транспортних та обслуговуючих операцій - час руху за ділянками транспортних маршрутів та завантаження об'єктів транспортування.

6) Місткість використаних у ГВС оперативних накопичувачів.

7) Критерії оцінки ефективності функціонування ГВС на заданому періоді роботи.

### **3. Склад, обсяг і структура курсового проекту**

Документація курсового проекту складається з пояснювальної записки та обов'язкового графічного матеріалу (креслень). Крім того, при захисті може використовуватись додатково демонстраційний матеріал в графічному (на папері, плівках), електронному (відеоматеріали, мультимедіа, презентації тощо) або натурному (моделі, програми) вигляді.

Орієнтовний обсяг, з урахуванням викладеного в попередньому пункті, складає:

- пояснювальна записка - 50-70 сторінок;
- обов'язковий графічний (ілюстративний) матеріал - не менше 2 аркушів креслень формату А1.

*Пояснювальна записка* до курсового проекту повинна у стислій та чіткій формі розкривати творчий задум проекту, містити аналіз сучасного стану проблеми, методів вирішення завдань проекту, обґрунтування їх оптимальності, методики та результати розрахунків, опис проведених експериментів, аналіз їх результатів і висновки з них; містити необхідні ілюстрації, ескізи, графіки, діаграми, таблиці, схеми, малюнки та ін. В ній мають бути відсутні загальновідомі положення, зайві описи, виведення складних формул тощо.

Текст пояснювальної записки складається, як правило, державною або російською (для іноземних студентів) мовою в друкованому вигляді на аркушах формату А4 шрифтом Times New Roman 14 пунктів, міжрядковий інтервал 1,5 Lines.

*Структура пояснювальної записки* умовно поділяється на вступну частину, основну частину та додатки.

Вступна частина:

- титульний аркуш (форма КП-2);
- завдання на курсове проектування (форма КП-3);
- календарний план виконання проекту (форма КП-4)
- реферат (анотація);
- зміст (форма КП-5);
- перелік скорочень, умовних позначень, термінів;
- вступ.

Основна частина:

- розділи, які розкривають основний зміст проекту відповідно до переліку питань, наданих у завданні на курсове проектування;
- закінчення (висновки);
- перелік посилань.

Додатки:

- відомість курсового проекту (форма КП-6);
- графічний матеріал (креслення);
- інші матеріали, які допомагають більш повно і докладно розкрити задум та шляхи реалізації проекту, в тому числі диск з розробленим програмним забезпеченням курсового проекту.

Перелік скорочень, вступ, висновки, перелік посилань і додатки, окрім розділів основної частини, не нумеруються.

*Реферат* (анотація) обсягом 0,5-1с. повинен стисло відображати загальну характеристику та основний зміст проекту і містити:

- відомості про обсяг пояснювальної записки, кількість ілюстрацій, таблиць, креслень, додатків і бібліографічних найменувань за переліком посилань;
- мету проекту, використані методи та отримані результати (характеристика об'єкту проектування, нові якісні та кількісні показники, економічний ефект тощо);

- рекомендації щодо використання або (та) результати впровадження розробок або досліджень;

- перелік ключових слів (не більше 20).

*Вступ* повинен відображати актуальність і доцільність проекту та містити:

- обґрунтування необхідності автоматизації існуючого об'єкта проектування на основі аналізу сучасного стану проблеми за даними вітчизняної та зарубіжної науково-технічної літератури;

- обґрунтування основних проектних рішень або напрямків досліджень;

- можливі галузі застосування результатів проекту;

- кінцеву мету проектування.

*Основна частина* пояснювальної записки повинна включати:

- розробку вимог до характеристик об'єкта проектування;

- вибір і обґрунтування оптимальності технічних рішень або теоретичних та експериментальних методів досліджень поставлених задач;

- вибір та обґрунтування можливих варіантів технічної реалізації та методів розрахунків параметрів елементів;

- експериментальні дослідження, розробку методики досліджень, опис розробленого програмного забезпечення, аналіз результатів роботи програмного забезпечення;

- загальні висновки щодо відповідності отриманих результатів завданню на курсове проектування та висунутим вимогам, можливість впровадження або застосування результатів.

Розділи основної частини повинні відтворити наступні питання:

1. Аналіз задач проектування системи оперативного управління ГВС

1.1. Опис підрозділа ГВС як об'єкта управління

1.2. Постановка задач проектування СОУ ГВС

1.3. Аналіз та вибір методів дослідження

2. Проектування алгоритмичного забезпечення системи оперативного управління

- 2.1. Розробка інформаційних структур даних задач проектування
  - 2.2. Складання розкладу роботи технологічного обладнання
  - 2.3. Розробка алгоритма транспортного обслуговування ГВС
  - 2.4. Синтез сіткової моделі функціонування обладнання ГВС
3. Розробка програмного забезпечення підсистем СОУ ГВС
    - 3.1. Призначення і область застосування програмного забезпечення
    - 3.2. Опис підсистеми вводу і обліку технологічних параметрів ГВС
    - 3.3. Опис підсистеми оперативного планування
    - 3.4. Опис підсистеми оперативно-диспетчерського управління
    - 3.5. Опис підсистеми сіткового моделювання ГВС

У висновках формулюються основні результати, оцінки та рекомендації щодо проведеного проектування.

*Документація обов'язкового графічного матеріалу повинна включати функціональну схему сіткової моделі алгоритмів роботи устаткування ГВС та схеми алгоритмів програмного забезпечення.*

#### **4. Схема оцінювання курсового проекту**

Курсовий проект є окремим кредитним модулем в складі дисципліни, тому для оцінювання роботи студентів розробляються окремі рейтингові системи оцінювання. Рейтингова оцінка такого кредитного модуля має дві складові.

Перша (стартова) характеризує якість пояснювальної записки та графічного матеріалу (сучасність прийнятих рішень, глибину обґрунтування та розрахунків, якість оформлення, виконання вимог нормативних документів тощо), крім того, враховується якість виконання графіку роботи студента над проектом. Розмір стартової шкали оцінювання дорівнює 40 балам.

Друга складова характеризує якість захисту роботи (ступінь володіння матеріалом, аргументованість рішень, вміння захищати свою думку тощо) і дорівнює 60 балам. Оцінювання другої складової відбувається у формі

запитання-відповідь, в наслідок якого визначаються наведені у додатку 6 встановлені показники рейтингової оцінки студента.

## **5. Вказівки до виконання розділів курсового проекту, щодо розв'язання задач проектування**

### **5.1. Організація оперативного управління ГВС**

При розв'язанні задачі організаційного управління виробництвом, одним з головних факторів, що регламентують діяльність промислового підприємства є узагальнений розрахунок виробничих потужностей і завантаження устаткування, результатом якого є виробнича програма виготовлення продукції за обсягом та номенклатурою. В умовах масового і серійного виробництва ефективним методом такого розрахунку, що забезпечує максимальне завантаження устаткування, є лінійне програмування, орієнтоване на побудову лінійних оптимізаційних моделей виробництва. Моделі, які використовуються у розрахунках є статичними, бо вони призначені для аналізу керуючих рішень, які поширюються на весь певний, попередньо визначений проміжок часу. Сфера застосування таких моделей та методів у теперішній час охоплює широкий спектр функцій організаційного управління [1,Д2]. Типовими задачами виробничого планування обсягу і номенклатури випуску продукції на двох рівнях управління підприємством є задача управління збутом продукції для адміністративного рівня управління і задача оптимального розподілу ресурсів для рівня управління підрозділами [Д7]. Але для ГВС ці задачі тільки визначають початкові данні і тому не є предметом розгляду при проектуванні СОУ.

Організація оперативного управління підприємством неможлива без деталізації виробничої програми випуску продукції за часовими інтервалами в межах встановленого планового періоду. Реалізація цієї функції здійснюється задачею календарного планування, результатом вирішення якої є часове упорядкування комплексу запланованих робіт програми. Часове

упорядкування виражається у визначенні строків початку та завершення виконання робіт, тобто календарний план визначає скільки продукції необхідно виготовити у кожному інтервалі встановленого періоду. У ГВС оперативний плановий період, як правило, не перевищує місячного терміну, а строками запуску-випуску є такі часові інтервали: декади, тижні або дні (доби).

Математичною формою уявлення задач даного класу є лінійна дискретна оптимізаційна модель, а методологією розв'язання - цілочисельне програмування.

Організація оперативно-диспетчерського управління виробництвом ґрунтується на деталізації для виконавців раніше розрахованого календарного плану випуску продукції в межах заданого планового інтервалу. Реалізація цієї функції здійснюється задачею оперативного планування, результатом якої є просторове упорядкування комплексу запланованих робіт [1]. Просторове упорядкування виражається у визначенні кожному виконавцю плану робіт з окремих операцій. В ГВС оперативний плановий інтервал, як правило, не перевищує зміни (доби), а виконавцем є технологічне устаткування.

Математичною формою подання задач даного класу є дискретна оптимізаційна модель, а методологією рішення - дискретне лінійне програмування (ДЛП) та імітаційні методи дослідження.

Для реалізації розроблених виробничих програм, календарних графіків і планів робіт устаткування необхідна система оперативного контролю і регулювання ходу виконання виробничого процесу. Це зв'язано з тим, що на хід виробничого процесу впливає ряд випадкових факторів, виключити дію яких цілком неможливо. До таких факторів відносяться поломки устаткування, перебої в постачанні, брак, ступінь забезпеченості трудовими ресурсами або іноді виникаюча необхідність випуску незапланованої продукції та інше.

Оперативний контроль і регулювання (диспетчерування) ходу виконання виробництва здійснюється як у масштабі всього підприємства, так і на рівні виробничих підрозділів. Поряд з функцією, зв'язаною з оперативним усуненням відхилень ходу виробничого процесу від нормального, передбаченим

календарним планом, диспетчерування повинне носити і попереджувальний характер. Це означає, що диспетчерування повинне містити в собі завчасне виявлення й усунення намічених відхилень від розроблених календарних графіків, тобто корегування поточних планів. До того ж, необхідно збалансувати (синхронізувати) роботу основного технологічного устаткування і обслуговуючого – транспортних і накопичувальних засобів, тобто розробити взаємопов'язані розклади (графіки) роботи всіх видів устаткування підрозділа ГВС, в якому необхідно здійснити оперативно-диспетчерське управління. Результатом розв'язання цієї задачі диспетчеризації з урахуванням структурно-компанувальної схеми ГВС буде повністю описана робота кожної одиниці устаткування в дискретному просторі станів виробничої системи і подана у виді алгоритму виконання виробничого процесу.

Аналіз станів дискретної системи досить складно здійснити на реальному виробничому об'єкті, тому що це пов'язано з великими витратами на побудову виробничої системи і ніколи немає повної впевненості у тому, що даний варіант є остаточним. Тому для дослідження складних систем будують їхні моделі – спрощені копії, що володіють основними якостями системи, за допомогою яких здійснюють аналіз останніх. Моделювання у ГВС – це не тільки інструмент аналізу але й засіб відлагодження дискретних систем управління, діагностики якісних характеристик процесів і джерел неприпустимих станів.

Аналіз складеного розкладу роботи устаткування ГВС передбачає його імітаційне моделювання з використанням апарату сіток Петрі з наступним дослідженням властивостей сіткової моделі, пошуком вузьких місць і конфліктів при роботі устаткування. Дослідження завершується рекомендаціями з налагодження системи оперативного управління ГВС, усунення помилок, допущених при проектуванні. Коректність побудованого розкладу визначається наступними вимогами до управління:

- управляючий процес не повинний приводити до тупикових ситуацій при виконанні виробничого процесу (не можна подавати нову деталь на обладнання не звільнивши його від попередньої деталі);

- управляючий процес не повинний приводити до блокування роботи устаткування (не можна накопичувати на обладнанні деталей більше, ніж задано його можливістю);

- управляючий процес повинний забезпечувати повторне виконання технологічних операцій після їхнього завершення (з врахуванням кількості накопичувачів у гнучкому виробничому модулі (ГВМ), деталь не може бути завантажена до вхідного накопичувача, доти ГВМ не стане вільним, а також деталь не може бути оброблена на ГВМ, доти не звільниться вихідний накопичувач).

## 5.2. Подання ГВС як об'єкта оперативного управління

### 5.2.1. Визначення параметрів ГАД як об'єкта управління

Основною організаційною формою ГВС на виробництві є гнучка автоматизована ділянка (ГАД). Будь-яка ГАД має у своєму складі такі елементи:

- гнучкі виробничі модулі (ГВМ) основного технологічного устаткування (верстати, складальні машини, тощо);
- автоматизований склад (виробів, напівфабрикатів, комплектуючих, інструментів);
- автоматизовану транспортну систему.

Для забезпечення подавання виробів на ГВМ та організації їх взаємодії з автоматизованим складом в ГАД використовується автоматизована транспортна система в складі транспортних модулів або роботів-штабелерів, які мають транспортні маршрути пересування. ГВМ обов'язково мають в своєму складі вхідний та вихідний накопичувачі, в які деталі надходять внаслідок виконання обслуговуючих операцій модулей автоматизованої транспортної системи (транспортним модулем, роботом) для подальшої обробки згідно визначеної технології виконання технологічних операцій, а після завершення обробки тимчасово зберігаються для подальшого транспортування на інше



технологічне устаткування або до автоматизованого складу. Це дозволяє розділити та прискорити процес транспортного обслуговування ГВМ внаслідок виконання спочатку операції перевезення наступної деталі для обробки, а потім перевезення попередньої, що чекає на подальшу обробку на іншому ГВМ. Проте на функціонування накопичувачів та роботу ГВМ накладаються деякі обмеження, пов'язані із забезпеченням вимог на порядок ініціювання технологічної операції на устаткуванні:

- транспортний модуль не може привезти наступну деталь на обробку, поки завантажений вхідний накопичувач;
- обробка деталі з вхідного накопичувача не може початися на ГВМ, поки зайнятий вихідний накопичувач;
- після завершення обробки деталь одразу надходить до вихідного накопичувача.

Для того, щоб створити ефективно діючу СОУ ГАД необхідно визначити:

- номенклатуру деталей як об'єктів виробництва та перелік технологічних операцій їх обробки;
- схему технологічної послідовності виконання операцій обробки на технологічному устаткуванні;
- кількість транспортних модулів компоувальної схеми ГАД;
- схему здійснення транспортування об'єктів виробництва.

Вищезазначений перелік даних використовується в якості вхідних параметрів для розробки оперативного-диспетчерського управління.

Після етапу розробки отримаємо розклад роботи устаткування та транспортних модулів (напрямок переміщення транспортних модулів, час завантаження, початку та закінчення обробки, розвантаження).

Вихідним завданням до курсового проекту є матриця послідовності операцій обробки деталей. Оброблюється 14 деталей з наступною номенклатурою операцій, яка проводиться над кожною з них.

Групи операцій для виготовлення деталей подані в табл. 1, де  $T_i$  – токарські операції,  $C_i$  – свердлильні операції,  $\Phi_i$  – фрезерувальні операції,  $P_i$  – операції нарізки різьблення.

Таблиця 1

№ дет.	Порядок виконання операцій
1	T1 C1 T2 T3 C2 T4 T5
2	T1 C1 T2 T4 T5
3	T1 C1 T2
4	T3 T1 C1 T2 C2
5	T3 C2 T1 C1 T2 $\Phi$ 1 T5
6	T4 T1 C1 T2 $\Phi$ 1 T5
7	T4 T5 T1 C1 T2 C2 T5
8	T3 T2 T4 C1 $\Phi$ 1 C2 P2
9	T1 T3 T2 T4 C2 P2
10	T5 T1 T3 T2 T4
11	T1 C2 T3 T2 T4 C1 $\Phi$ 1
12	T1 C2 P2 T3 T2 T4
13	T1 C1 $\Phi$ 1 T3 T2 T4
14	T3 T2 T4 C2 P2

Часові складові та середня швидкість переміщення підрозділу ГВС котрі будуть застосовані для розрахунку, приведені в табл.2:

#### Основні параметри функціонування ГАД

Таблиця 2

Найменування параметра	Позначення	Одиниця виміру	Значення
Середня трудомісткість обробки однієї	$t_{об}$	година	0.2

деталеустановки			
Час завантаження ГВМ	$t_z$	хв	6
Час розвантаження ГВМ	$t_p$	хв	4
Середня довжина переміщення РШ	$l_{cp}$	м	30
Середня швидкість переміщення РШ	$V_{cp}$	м/хв	60
Час на операцію взяти/поставити	$t_{вз}, t_{пост}$	хв	0.14

До складу гнучкої виробничої ділянки входять:

- гнучкі виробничі модулі (ГВМ) у кількості 4 з накопичувачами, які виконують роль локального нагромаджувача деталей, що надійшли для обробки на ГВМ або завершили обробку і очікують на розвантаження і транспортування транспортними модулями;

- автоматизований склад (АС) з 1 пунктом передачі, що виступає в ролі центрального нагромаджувача для проміжного збереження об'єктів виробництва або для кінцевого для готових виробів;

- автономних транспортних модулі (АТМ) у кількості 4, задачею яких є переміщення об'єктів виробництва між складом і виробничими модулями.

Кількість накопичувачі ГВМ визначається завантаженням деталями, що надходять на модуль для виконання операцій. Вважається, що при низькому завантаженні модуля оброблюваними деталями (менш, ніж 50% номенклатури деталей), то достатньо одного накопичувача, який виконує функцію вхідного і вихідного накопичувача для локального збереження деталей до і після виконання операцій. Якщо завантаження модуля високе, то ГВМ обладнується двома накопичувачами, з яких один є вхідним, а інший вихідним. Тобто окремо для збереження деталей, що очікують перед виконання операцій та після виконання.

За наведеною організаційно-технологічною схемою (рис.1) завантаження ГВМ оброблюваними деталями є високим, тому всі модулі мають по два накопичувача: один вхідний та один вихідний.

Схема розбиття ГАД на ГВМ представлена на рис. 1.

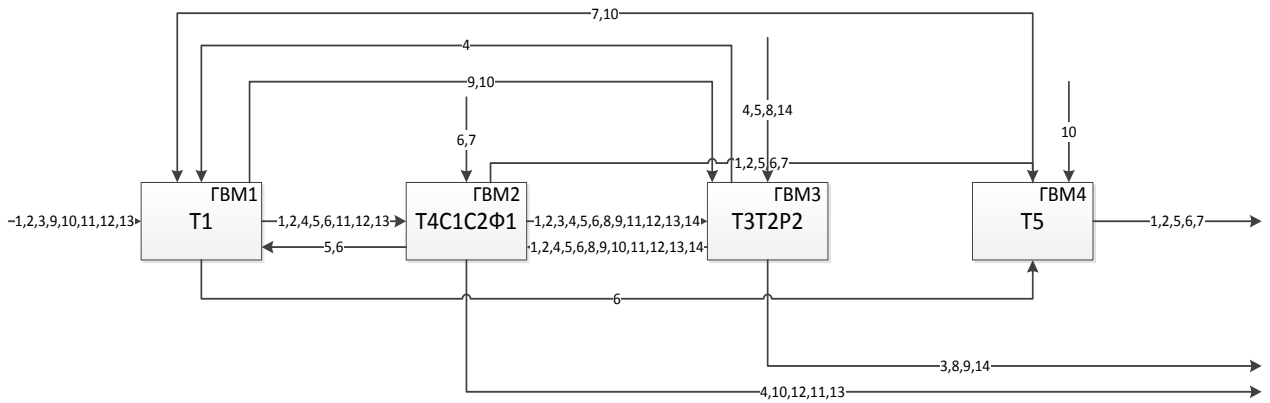


Рис. 1 Організаційно-технологічна схема ГВД

Структурно-компонувально схема ГВД, подана на рис. 2, визначає транспортні схеми (маршрути) перевезення оброблюваних деталей на ГВМ, та схему їх взаємодії з АС. Слід зазначити, що час завантаження/розвантаження ГВМ пов'язана з попереднім або наступним виконання дій АТМ з операцій взяти/поставити. Тобто, якщо оброблювана деталь транспортується з АС до ГВМ, то виконується така послідовність операцій обслуговування – взяти-транспортування-поставити-завантажити, з ГВМ до АС – розвантажити-взяти-транспортування-поставити, з ГВМ до ГВМ – розвантажити-взяти-транспортування-поставити-завантажити. Час операції транспортування залежить від розташування ГВМ на транспортному маршруті АТМ відповідно до структурно-компонувальної схеми. Тобто, від кількості пройдених за маршрутом проходження інших ГВМ. Тому вважається, що всі ГВМ та пункти передачі АС розташовані рівномірно на маршруті проходження АТМ, а час транспортування між суміжними точками обслуговування складає як  $l_{cp} / V_{cp}$ .

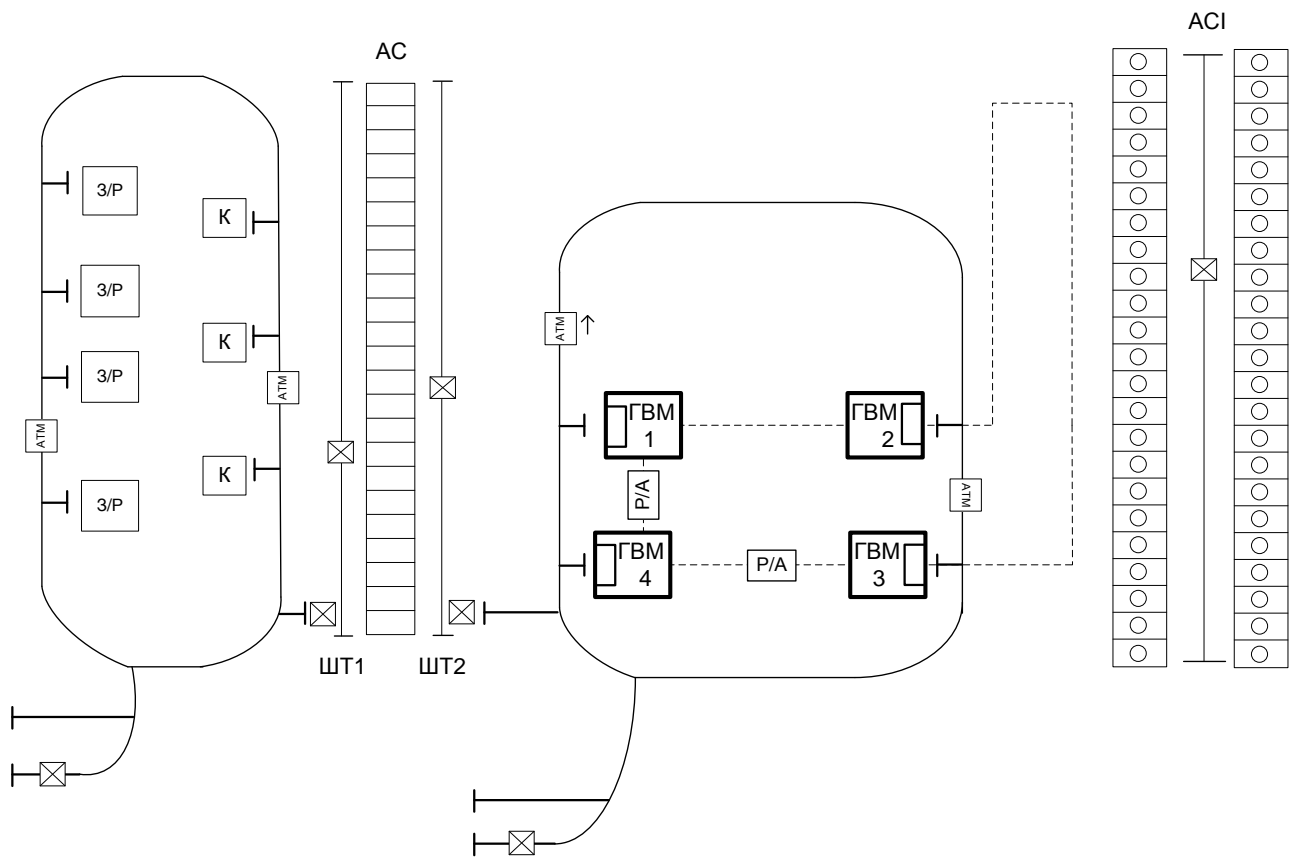


Рис. 2 Структурно-компонувальна схема ГАД

### 5.2.2. Обробка і підготовка вихідних даних проектування

Для складання розкладу роботи технологічного устаткування необхідно визначити технологічний маршрут для кожної деталі, що містить у собі порядок її проходження через технологічне устаткування ГВМ і час обробки на одиниці устаткування.

Для розрахунку технологічного маршруту було визначено:

- номенклатуру деталей обробки;
- у якій послідовності і на якому устаткуванні деталі будуть обробляться;

На основі цієї інформації складемо технологічний маршрут для кожної деталі. Технологічний маршрут включає порядок проходження деталей через технологічне устаткування і час обробки деталі на одиниці технологічного устаткування. Порядок проходження деталей через технологічне устаткування

був визначений згідно операціям, які необхідно провести з деталлю. Складемо необхідну матрицю маршрутів. Вона приведена в табл. 3.

Таблиця 3

	Д1	Д2	Д3	Д4	Д5	Д6	Д7	Д8	Д9	Д10	Д11	Д12	Д13	Д14
етап 1	1 (Т1)	1 (Т1)	1 (Т1)	3 (Т3)	3 (Т3)	2 (Т4)	2 (Т4)	3 (Т3, Т2)	1 (Т1)	4 (Т5)	1 (Т1)	1 (Т1)	1 (Т1)	3 (Т3, Т2)
етап 2	2 (С1)	2 (С1)	2 (С1)	1 (Т1)	2 (С2)	1 (Т1)	4 (Т5)	2 Т4,С1 Ф1,С2	3 (Т3, Т2)	1 (Т1)	2 (С2)	2 (С2)	2 (С1, Ф1)	2 (Т4, С2)
етап 3	3 (Т2, Т3)	3 (Т2)	3 (Т2)	2 (С1)	1 (Т1)	2 (С1)	1 (Т1)	3 (Р2)	2 (Т4, С2)	3 (Т3, Т2)	3 (Т3, Т2)	3 (Р2, Т3, Т2)	3 (Т3, Т2)	3 (Р2)
етап 4	2 (С2, Т4)	2 (Т4)		3 (Т2)	2 (С1)	3 (Т2)	2 (С1)		3 (Р2)	2 (Т4)	2 (Т4, С1, Ф1)	2 (Т4)	2 (Т4)	
етап 5	4 (Т5)	4 (Т5)		2 (С2)	3 (Т2)	2 (Ф1)	3 (Т2)							
етап 6					2 (Ф1)	4 (Т5)	2 (С2)							
етап 7					4 (Т5)		4 (Т5)							
кількість операцій	7	5	3	5	7	6	7	7	6	5	7	6	6	5
кількість деталей установок	5	5	3	5	7	6	7	3	4	4	4	4	4	3

У табл. 3 представлені наступні ГВМ:

$$ГВМ1=\{Т1\};$$

$$ГВМ2=\{Т4, С1, С2, Ф1\};$$

$$ГВМ3=\{Т3, Т2, Р2\};$$

$$ГВМ4=\{Т5\};$$

Час виконання кожної операції залежить від її складності. Встановимо складність виконання операції відповідно до порядку виконання операції в матриці маршрутів.

У відповідності зі складністю обробки розраховується час кожної операції за формулою:

$$t_{ij} = t_{cl} \cdot K_{ij}^{cl}, \quad t_{cl} = m \cdot t_{об} / \sum_{j=1}^n K_j^{cl}, \quad K_j^{cl} = \sum_{i=1}^{m_j} K_{ij}^{cl}$$

де

$m$  – загальна кількість операцій (або деталеустановок)

$n$  – загальна кількість деталей

$m_j$  – кількість операцій  $j$ -ої деталі

$t_{об}$  – середній час обробки однієї деталеустановки

$t_{cl}$  – час обробки самої складної операції ( $K_j^{cl} = 1$ )

$K_j^{cl}$  – коефіцієнт складності  $j$ -ої деталі,

$K_{ij}^{cl}$  – коефіцієнт складності  $i$ -ої операції, що входить в технологічний процес обробки  $j$ -ої деталі.

Матриця порядку виконання операції представлена в табл. 4.

Таблиця 4

	Д1	Д2	Д3	Д4	Д5	Д6	Д7	Д8	Д9	Д10	Д11	Д12	Д13	Д14
T1	1	1	1	2	3	2	3		1	2	1	1	1	
T2	3	3	3	4	5	4	5	2	3	4	4	5	5	2
T3	4			1	1			1	2	3	3	4	4	1
T4	6	4				1	1	3	4	5	5	6	6	3
T5	7	5			7	6	2,7			1				
C1	2	2	2	3	4	3	4	4			6		2	
C2	5			5	2		6	6	5		2	2		4
Ф1					6	5		5			7		3	
P2								7	6			3		5

З таблиці 4 зіставимо таблицю 5, в якій розраховано скільки разів на якій позиції зустрічається кожна з наданих операцій.

Таблиця 5

Позиція	T1	T2	T3	T4	T5	C1	C2	P2	Ф1
1	7	0	4	2	1	0	0	0	0

2	3	2	1	0	1	4	3	0	0
3	2	4	2	2	0	2	0	1	1
4	0	4	3	2	0	3	1	0	0
5	0	4	0	2	1	0	3	1	2
6	0	0	0	3	1	1	2	1	1
7	0	0	0	0	3	0	0	1	1
Всього	12	14	10	11	7	10	9	4	5

Час виконання кожної операції залежить від її складності. Встановимо, що складність виконання кожної операції залежить від позиції її виконання в технологічному процесі. Операція Т1 найчастіше зустрічається на першій позиції (7 разів), отже складність її виконання – 1. Операція Т2 зустрічається частіше на багатьох позиціях, ніж операція Т4, тому складність виконання даних операцій відповідно – 0.9 та 0.8. Операція Т3 застосовується до деталей частіше ніж операція Т5, але рідше ніж Т2 або Т4, тому їх складність відповідно – 0.7 та 0.6. Свердлильна операція С1 зустрічається на 1 раз частіше, ніж операція С2, тому складність операції С1 прийнято за 0.7 а С2 – 0.6. Операція Ф1 має складність 0.5, а операція різьблення Р2 – 0.2, бо вона є найпростішою. Складність операцій представлена у табл.6.

*Таблиця 6*

Операція	Тип	Складність
Т1	токарська	1
Т2	токарська	0.9
Т3	токарська	0.7
Т4	токарська	0.8
Т5	токарська	0.6
С1	свердлильна	0.7
С2	свердлильна	0.6
Ф1	фрезерна	0.5
Р2	різьблення	0.2



Для розрахунку часу на виконання операцій складемо таблицю коефіцієнтів складності операцій для кожної деталі у наступному вигляді (табл.7).

Таблиця 7

	T1	T2	T3	T4	T5	C1	C2	Ф1	P2	Ксл <sub>j</sub>
Д1	1	0.9	0.7	0.8	0.6	0.7	0.6			5.3
Д2	1	0.9		0.8	0.6	0.7				4
Д3	1	0.9				0.7				2.6
Д4	1	0.9	0.7			0.7	0.6			3.9
Д5	1	0.9	0.7		0.6	0.7	0.6	0.5		5
Д6	1	0.9		0.8	0.6	0.7		0.5		4.5
Д7	1	0.9		0.8	0.6	0.7	0.6			4.6
Д8		0.9	0.7	0.8		0.7	0.6	0.5	0.2	4.4
Д9	1	0.9	0.7	0.8			0.6		0.2	4.2
Д10	1	0.9	0.7	0.8	0.6					4
Д11	1	0.9	0.7	0.8		0.7	0.6	0.5		5.2
Д12	1	0.9	0.7	0.8			0.6		0.2	4.2
Д13	1	0.9	0.7	0.8		0.7		0.5		4.6
Д14		0.9	0.7	0.8			0.6		0.2	3.2

$$\sum K^{cl}_j = 59.7$$

$$t_{об} = 0.2(\text{год}) = 0.2 * 60 = 12 \text{ (хв)}$$

$m = 81$  – сумарна кількість операцій

$$t_{сл} = m * t_{об} / \sum K^{cl}_j = \frac{81 * 12}{59.7} = 16.28 \text{ (хв)} - \text{час обробки найскладнішої операції.}$$

Результати обчислень знаходяться в табл. 8 (згідно коефіцієнтів).

Таблиця 8

Операція	Час
T1	16.28
T2	14.65
T3	11.4

T4	13.02
T5	9.77
C1	11.4
C2	9.77
Ф1	8.14
P2	3.26

На підставі отриманих значень складемо матрицю тривалості обробки деталей на ГВМ, що на табл. 9:

*Таблиця 9*

	Д1	Д2	Д3	Д4	Д5	Д6	Д7	Д8	Д9	Д10	Д11	Д12	Д13	Д14
<b>етап 1</b>	16.28	16.28	16.28	11.4	11.4	13.02	13.02	26.05	16.28	9.77	16.28	16.28	16.28	26.05
<b>етап 2</b>	11.4	11.4	11.4	16.28	9.77	16.28	9.77	42.33	26.05	16.28	9.77	9.77	19.54	22.79
<b>етап 3</b>	26.05	14.65	14.65	11.4	16.28	11.4	16.28	3.26	22.79	26.05	26.05	29.31	26.05	3.26
<b>етап 4</b>	22.79	13.02		14.65	11.4	14.65	11.4		3.26	13.02	32.56	13.02	13.02	
<b>етап 5</b>	9.77	9.77		9.77	14.65	8.14	14.65							
<b>етап 6</b>					8.14	9.77	9.77							
<b>етап 7</b>					9.77		9.77							

Для складання розкладу транспортного обслуговування ГВМ необхідно знати час транспортного обслуговування між ГВМ та між АС та ГВМ. Це розраховується з урахуванням того, що ГВМ знаходяться на однаковій відстані один від одного та від АС, та з урахування структурно-компонувальної схеми ГВС. Час транспортування розраховується тільки для маршрутів наведених у структурно-технологічній схемі.

Основні параметри ділянки ГВС представлені в табл. 2, що наведена у розділі 5.2.1.

Переміщення між АС та ГВМ, ГВМ та ГВМ визначаються за допомогою організаційно-технологічної схеми ГАД, тобто якщо в ГВМ входить потік деталей, то відповідно є переміщення з АС на ГВМ, аналогічно визначаються

переміщення типу ГВМ-ГВМ та ГВМ-АС. Причому треба враховувати кількість переміщень (рахувати по модулям). Результати розрахунків зручно представити у вигляді таблиці, при цьому слід зауважити, що не обов'язково розраховувати всі переміщення, достатньо вказати лише ті, що здійснюються в системі.

Переміщення між АС та ГВМ, ГВМ та ГВМ наведені в табл. 10.

Таблиця 10

	АС	ГВМ1	ГВМ2	ГВМ3	ГВМ4
АС	-	1	2	3	0
ГВМ1	3	-	1	2	3
ГВМ2	2	3	-	1	2
ГВМ3	1	2	3	-	
ГВМ4	0	1			-

Послідовність дій ( час у хв.):

$$АС \Rightarrow ГВМ1 = t_{\text{вз}} + t_{\text{носм}} + 1 * t_{\text{ср}} + t_3 = 6.78$$

$$АС \Rightarrow ГВМ2 = t_{\text{вз}} + t_{\text{носм}} + 2 * t_{\text{ср}} + t_3 = 7.28$$

$$АС \Rightarrow ГВМ3 = t_{\text{вз}} + t_{\text{носм}} + 3 * t_{\text{ср}} + t_3 = 7.78$$

$$АС \Rightarrow ГВМ4 = t_{\text{вз}} + t_{\text{носм}} + 0 * t_{\text{ср}} + t_3 = 6.28$$

$$ГВМ1 \Rightarrow АС = t_{\text{вз}} + t_{\text{носм}} + 3 * t_{\text{ср}} + t_p = 5.78$$

$$ГВМ2 \Rightarrow АС = t_{\text{вз}} + t_{\text{носм}} + 2 * t_{\text{ср}} + t_p = 5.28$$

$$ГВМ3 \Rightarrow АС = t_{\text{вз}} + t_{\text{носм}} + 1 * t_{\text{ср}} + t_p = 4.78$$

$$ГВМ4 \Rightarrow АС = t_{\text{вз}} + t_{\text{носм}} + 0 * t_{\text{ср}} + t_p = 4.28$$

$$ГВМ1 \Rightarrow ГВМ2 = t_{\text{вз}} + 1 * t_{\text{ср}} + t_{\text{носм}} + t_p + t_3 = 10.78$$

$$ГВМ1 \Rightarrow ГВМ3 = t_{\text{вз}} + 2 * t_{\text{ср}} + t_{\text{носм}} + t_p + t_3 = 11.28$$

$$ГВМ1 \Rightarrow ГВМ4 = t_{\text{вз}} + 3 * t_{\text{ср}} + t_{\text{носм}} + t_p + t_3 = 11.78$$

$$\Gamma\text{BM}2 \Rightarrow \Gamma\text{BM}1 = t_{\text{e3}} + 3 * t_{\text{cp}} + t_{\text{nocm}} + t_p + t_3 = 11.78$$

$$\Gamma\text{BM}2 \Rightarrow \Gamma\text{BM}3 = t_{\text{e3}} + 1 * t_{\text{cp}} + t_{\text{nocm}} + t_p + t_3 = 10.78$$

$$\Gamma\text{BM}2 \Rightarrow \Gamma\text{BM}4 = t_{\text{e3}} + 2 * t_{\text{cp}} + t_{\text{nocm}} + t_p + t_3 = 11.28$$

$$\Gamma\text{BM}3 \Rightarrow \Gamma\text{BM}1 = t_{\text{e3}} + 2 * t_{\text{cp}} + t_{\text{nocm}} + t_p + t_3 = 11.28$$

$$\Gamma\text{BM}3 \Rightarrow \Gamma\text{BM}2 = t_{\text{e3}} + 3 * t_{\text{cp}} + t_{\text{nocm}} + t_p + t_3 = 11.78$$

$$\Gamma\text{BM}4 \Rightarrow \Gamma\text{BM}1 = t_{\text{e3}} + 1 * t_{\text{cp}} + t_{\text{nocm}} + t_p + t_3 = 10.78$$

Підраховані дані представлені у табл. 11.

Таблиця 11

	AC	ГВМ1	ГВМ2	ГВМ3	ГВМ4
AC	-	6.78	7.28	7.78	6.28
ГВМ1	5.78	-	10.78	11.28	11.78
ГВМ2	5.28	11.78	-	10.78	11.28
ГВМ3	4.78	11.28	11.78	-	
ГВМ4	4.28	10.78			-

### 5.3. Оперативне планування роботи ГВС

#### 5.3.1. Постановка задачі оперативного планування

Об'єктами процесу планування є роботи – технологічні операції, партії деталей, для яких необхідно встановити порядок проходження через устаткування при фіксованих технологічних маршрутах обробки.

Формально задача подається наступним чином.

Номенклатурний перелік продукції, яка виробляється на  $m$  групах ( $k = \overline{1, m}$ ) устаткування, складається з  $n$  найменувань ( $j = \overline{1, n}$ ).

Виготовлення партії деталей кожного найменування заздалегідь визначене послідовністю проходження деталей через групи устаткування, яку

називають *технологічним маршрутом*  $G_j = (L_{ij} | i = \overline{1, M_j})$ , де  $L_{ij}$  – технологічна операція, яка виконується  $i$ -ою за порядком виготовлення  $j$ -ої деталі;  $M_j$  – кількість операцій, які виконуються над  $j$ -ою деталлю.

У маршруті технологічні операції  $L_{ij} = (Q_{ij}, T_{ij})$  мають такі характеристики:

$Q_{ij} = k$  – номер групи устаткування, налагодженого на виконання операції  $L_{ij}$ ;

$T_{ij}$  – нормативна тривалість виконання операції  $L_{ij}$ .

Необхідно скласти розклад  $P = (T_{ij}^n | i = \overline{1, M_j}, j = \overline{1, n})$ , який визначає моменти початку виконання операцій  $L_{ij}$  (моменти запуску партії деталей на одиницях устаткування) і задовольняє системі обмежень:

– умові виконання технологічної послідовності:

$$T_{ij}^n \geq T_{i-1,j}^k;$$

– умові виконання технологічних маршрутів;

– умові виконання операцій без перерв:

$$T_{ij}^k = T_{ij}^n + T_{ij};$$

– умові виконання в кожний момент часу тільки однієї операції на одиниці устаткування:

$$(T_{i_1 j_1}^n \leq T_{i_2 j_2}^n) \Rightarrow (T_{i_1 j_1}^k \leq T_{i_2 j_2}^k),$$

де  $T_{ij}^k$  – момент закінчення виконання операції  $L_{ij}$ .

Пошук найкращого розкладу виконується за критерієм ефективності, вибір якого індивідуально залежить від економічних, організаційних та технічних особливостей роботи конкретного виробничого підрозділу в умовах досягнення найбільших показників господарської діяльності.

Відомо, що від структури планованого розподілу деталей по обладнанню (переналагодження у просторі) та розміру партій деталей (переналагодження у часі) залежать значні виробничо-господарські показники. Тому процес побудови критерію ефективності складається з визначення показника

оцінювання та вибору форми виразу оцінки в залежності від економічних умов організації виробництва. Найчастіше показником оцінювання в критерії визначають час виробничого циклу, фондівдачу устаткування, обсяг незавершеного виробництва, а формою оцінювання – сумарне, максимальне чи мінімальне значення показника або його середнього значення за плановий час.

Найбільш поширеними типами критеріїв є:

1) *оптимізація виробничого циклу* – часу випуску заданого обсягу продукції як сумарної тривалості обробки всіх деталей:

$$\min \left( \max_{i,j} \{T_{ij}^K\} \right);$$

$$\min \left( \max_k \{T_k^P + T_k^{PP}\} \right);$$

$$\min \left( \max_j \left\{ \sum_i (T_{ij}^{Oч} + T_{ij}) \right\} \right),$$

де  $T_k^P$  – сумарний час виконання операцій на  $k$ -ій одиниці устаткування;

$T_k^{PP}$  – сумарний час простоїв  $k$ -ої одиниці устаткування;

$T_{ij}^{Oч}$  – очікування  $j$ -ої деталі перед обробкою на  $i$ -ій операції;

2) *оптимізація використання устаткування* (фондовіддачі):

– максимізація завантаження устаткування, а саме:

мінімального –  $\max \left( \min_k \{K_k^3\} \right);$

загального –  $\max \left( \sum_k K_k^3 \right),$

де  $K_k^3 = T_k^P / (T_k^P + T_k^{PP})$  – коефіцієнт завантаження  $k$ -ої одиниці устаткування;

– мінімізація часу простою устаткування, а саме:

максимального сумарного –  $\min \left( \max_k \{T_k^{PP}\} \right);$

максимального міжопераційного –  $\min \left( \max_{i,j} \{T_{ij}^{PP}\} \right);$

загального –  $\min \left( \sum_k T_k^{PP} \right),$

де  $T_{ij}^{PP}$  – простій  $k$ -ої одиниці устаткування ( $k = Q_{ij}$ ) перед виконанням операції  $L_{ij}$ ;

$$T_k^{PP} = \sum_{(i,j|Q_{ij}=k)} T_{ij}^{PP} - \text{сумарний простій } k\text{-ої одиниці устаткування};$$

– мінімізація середнього міжопераційного простою устаткування, а саме:

$$\text{максимального} - \min \left( \max_k \{ T_k^{PP} / N_k \} \right);$$

$$\text{загального} - \min \left( \sum_k T_k^{PP} / N_k \right),$$

де  $N_k$  – кількість операцій, що виконується на  $k$ -ій одиниці устаткування, або кількість одиниць простою у випадку, якщо устаткування виконує однакову кількість операцій;

3) *оптимізація незавершеного виробництва:*

– мінімізація очікування деталей перед обробкою, а саме:

$$\text{максимального міжопераційного} - \min \left( \max_{i,j} \{ T_{ij}^{oc} \} \right);$$

$$\text{максимального подетального} - \min \left( \max_j \left\{ \sum_i T_{ij}^{oc} \right\} \right);$$

$$\text{загального} - \min \left( \sum_{i,j} T_{ij}^{oc} \right);$$

– мінімізація середнього очікування деталей перед обробкою, а саме:

максимального –

$$\min \left( \max_j \left\{ \sum_i T_{ij}^{oc} / M_j \right\} \right);$$

$$\min \left( \max_j \left\{ \sum_i T_{ij}^{oc} / N_j \right\} \right);$$

загального –

$$\min \left( \sum_{i,j} T_{ij}^{oc} / M_j \right)$$

$$\min \left( \sum_{i,j} T_{ij}^{oc} / N_j \right),$$

де  $N_j$  – кількість одиниць часу очікування  $j$ -ої деталі перед обробкою (може застосовуватися у випадку, якщо  $M_j$  однакове для всіх деталей).

Кожен з наведених типів критеріїв орієнтований на задоволення тільки власного показника ефективності виробництва. Проте, перший є дещо більш загальним та багатофункціональним по відношенню до другого та третього, оскільки може їх оптимізувати за різних технологічних умов організації виробництва. Так, якщо всі деталі обробляються за однаковим технологічним маршрутом, то використання першого критерію означає також оптимізацію використання устаткування, тобто мінімізацію простою.

Часто в реальних виробничих умовах необхідно вирішувати задачу оперативного планування, враховуючи одночасно декілька критеріїв. Одним із засобів розв'язання багатокритеріальної задачі є створення компромісного критерію. Його створення передбачає наступне:

– для кожного локального критерію ( $E_i | i=1, r$ ) розв'язується задача оптимізації і обчислюється її екстремальне значення  $E_i^*$ ;

– задаються вагові коефіцієнти пріоритету  $\lambda_i$  та визначаються рівняння відхилень  $V_i = E_i - E_i^*$  кожного критерію від свого оптимального значення у кожному іншому випадку розв'язання задачі;

– будується вираз компромісного критерію з використанням адитивної функції  $\min \left( \sum_i \lambda_i \cdot V_i \right)$  або функції рівномірного відхилення  $\min \left( \sum_i \lambda_i \cdot V_i / E_i^* \right)$ ;

– розв'язується задача із застосуванням компромісного критерію або серед раніше знайдених рішень обирається те, яке оптимізує компромісний критерій.

Важливими показниками якості сформованого розкладу, з точки зору його реалізації при оперативно-диспетчерському управлінні, виступають простої устаткування, час очікування деталей перед обробкою та локальні резерви часу.

*Простій* – це інтервал часу між завершенням виконання попередньої операції та початком наступної за розкладом роботи устаткування. Простої



бувають доопераційні (час до початку виконання першої операції на обладнанні) та міжопераційні.

*Очікування* – це інтервал часу між завершенням виконання обробки деталі на попередній за технологічним маршрутом операції та початком виконання наступної операції.

*Локальний резерв часу* – це інтервал, на який можна збільшити тривалість операції, не змінюючи момент початку наступної за розкладом робіт операції.

Локальний резерв операції  $L_{ij}$  розраховується як мінімальне значення між простоем устаткування  $k = Q_{ij} = Q_{gh}$  після виконання операції  $L_{ij}$  та часом очікування  $j$ -ої деталі перед обробкою на операції  $L_{i+1,j}$ :

$$T_{ij}^{LP} = \min\{T_k^{PP}, T_{i+1,j}^{oc}\}; T_k^{PP} = T_{gh}^{\Pi} - T_{ij}^K; T_{i+1,j}^{oc} = T_{i+1,j}^{\Pi} - T_{ij}^K,$$

де  $T_{i+1,j}^{oc}$  – час очікування  $j$ -ої деталі перед обробкою на операції  $L_{i+1,j}$ ;

$T_k^{PP}$  – час простою  $k$ -го устаткування після виконання операції  $L_{ij}$ ;

$L_{gh}$  – наступна після  $L_{ij}$  операція, що виконується на цьому обладнанні.

Резерв створюється як за рахунок неможливості повного завантаження устаткування навіть за умови оптимального розв'язання задачі оптимального планування, так і за рахунок цілеспрямованого введення його у розклад роботи.

Основне призначення локального резерву полягає у використанні його в оперативно-диспетчерському управлінні з метою компенсування зовнішніх впливів на час виконання операцій.

Також резерви можуть бути використані для включення у розклад роботи додаткових робіт, що не порушують основну структуру розкладу, але підвищують завантаження устаткування.

### 5.3.2. Методи розв'язання задачі складання розкладу роботи технологічного устаткування

Усі методи розв'язання задач цього типу умовно розбивають на наступні основні класи:

– аналітичні методи, які ґрунтуються на апараті дискретної оптимізації;

– імітаційні методи, які ґрунтуються на імітації роботи об'єкта планування та використання повного або часткового перебору варіантів запуску деталей в обробку;

– комбіновані аналітико-імітаційні методи.

Існуючі аналітичні методи звичайно прямо або непрямо пов'язані з перебором варіантів, але їх трудомісткість експоненційно залежить від розмірності задачі. Відомі методи відсіювання варіантів типу “гілок та границь” дозволяють зменшити, іноді суттєво, коефіцієнт пропорційності в залежності між трудомісткістю алгоритму та розмірністю задачі і тим самим розширити область практичного застосування алгоритмів, що перебираються. Однак експоненційний характер цих алгоритмів для задач у загальному вигляді залишається незмінним. Проте існує клас окремих задач оперативного планування, що мають аналітичні алгоритми вирішення неекспоненційного характеру складності. Ці задачі мають обмеження у застосуванні, пов'язані з вихідними умовами задачі, наприклад, однаковий час або маршрут обробки, обмежену кількість устаткування – однієї до трьох одиниць технологічного устаткування, тощо, тобто ефективні аналітичні методи існують тільки для простих випадків формулювань задач оперативного планування.

Типовим представником таких задач, в яких відображаються найбільш поширені умови виробництва, є *задача Джонсона* “про два верстати”, що має оптимальний алгоритм розв'язання.

Виробнича ділянка складається з двох одиниць устаткування, яке обробляє вироби  $n$  типів за однаковим технологічним маршрутом, тобто деталі повинні послідовно пройти через усе устаткування. Необхідно визначити черговість запуску-випуску виробів за критерієм мінімізації виробничого циклу (загального часу) виготовлення усіх виробів.

Очевидно, що для отримання оптимального рішення потрібно мінімізувати сумарний час простою другого устаткування в очікуванні завершення обробки деталей на першому. Принципом оптимальності черговості запуску за визначеним критерієм ефективності є

$$\min(T_{1k}, T_{2l}) \leq \min(T_{1l}, T_{2k}),$$

якщо деталь  $k$  йде раніше деталі  $l$ . За допомогою цієї нерівності формується наступний алгоритм оптимізації:

- всі деталі поділяються на дві групи. До першої належать деталі, в яких  $T_{1k} \leq T_{2k}$ , а до другої – деталі, в яких  $T_{1k} > T_{2k}$ ;
- в першій групі деталі впорядковуються за зростанням часу  $T_{1k}$ , а в другій – за зменшенням часу  $T_{2k}$ ;
- загальна черговість запуску деталей визначається як послідовність обробки деталей з першої групи, а потім з другої.

Аналогічний алгоритм може застосовуватися і у випадку трьох верстатів. В цьому випадку принцип оптимальності набуває вигляду:

$$\min(T_{1k} + T_{2k}, T_{3l} + T_{2l}) \leq \min(T_{1l} + T_{2l}, T_{3k} + T_{2k}),$$

якщо деталь  $k$  йде раніше на обробку деталі  $l$ , тобто, в першій групі ( $T_{1k} \leq T_{3k}$ ) деталі впорядковуються за зростанням часу ( $T_{1k} + T_{2k}$ ), а в другій ( $T_{1k} > T_{3k}$ ) – за зменшенням часу ( $T_{3k} + T_{2k}$ ).

У випадку часткового проходження деталей через одиниці устаткування, таку ситуацію також можна звести до вихідної, прийнявши нульовий час роботи устаткування. Проте, якщо кількість устаткування перевищує три одиниці, то застосований принцип оптимальності та наведений алгоритм не може бути використаний, оскільки не дає оптимального розв'язку задачі.

Імітаційні методи. Для складних задач (різні технологічні маршрути обробки, кількість устаткування перевищує три тощо) з точки зору практичних цілей отримання результату за короткий термін найчастіше використовують евристичні алгоритми складання розкладів на базі вирішальних правил в режимі імітації роботи виробничої системи. У цьому режимі виконуються паралельна (одночасна) побудова діаграм Ганта для всіх одиниць технологічного устаткування, які беруть участь у процесі планування.

*Діаграма Ганта* – це часовий графік виконання операцій технологічних маршрутів обробки деталей на визначених одиницях устаткування. Графічно

подається у вигляді діаграми, де проти кожної одиниці устаткування у визначені моменти часу призначені операції обробки.

Алгоритм побудови розкладів за даним методом наступний:

0. Нехай у деякий момент часу  $T = \min(T_{ij}^K)$  верстат  $l = Q_{ij}$  закінчив обробку операції  $i$  поточної деталі  $j$ . Цей момент визначається як мінімальний серед усіх встановлених на поточний момент термінів завершення виконання операцій в графіку робіт.

1. Оброблена деталь  $j$  заноситься у портфель робіт наступного за технологічним маршрутом верстата  $l' = Q_{i+1j}$ .

Портфель робіт це підготовлені (у стані очікування) до виконання на верстаті операції обробки деталей.

Якщо є декілька варіантів технологічного маршруту, деталь одночасно заноситься у відповідну кількість портфельів. Якщо виконана операція була останньою за технологічним маршрутом ( $i = M_j$ ), то деталь виключається з розгляду. Цей пункт повторно виконується для всіх верстатів, які на момент  $T$  завершили виконання операцій.

2. Якщо портфель робіт верстата  $l$  порожній, то він буде переведений у стан простою. В іншому випадку за допомогою вирішального правила переваги з портфелю вибирається одна деталь  $j'$  та записується як поточна в розклад робіт даного верстата із зазначенням часу завершення операції  $T_{ij'}^K = T_{ij'}^H + T_{ij'}$ .

Обрана таким чином деталь виключається з усіх портфельів, де вона знаходилася. Цей пункт повторно виконується для всіх верстатів, які на момент  $T$  завершили виконання операцій.

3. Якщо у випадку виконання п. 1 з'явилась можливість завантажити верстат, який знаходиться у стані простою, то відповідна деталь записується в розклад робіт цього верстата, для якого формується нове значення часу завершення операції за правилом п. 2.

4. Обирається наступний верстат з мінімальним поточним значенням  $T$  та виконується перехід до п. 0. Планування ведеться до повного виконання усіх

операцій над деталями або до тих пір, поки не буде побудований розклад на потрібний інтервал планування (зміну/добу).

За вирішальні правила в алгоритмах імітаційного моделювання найчастіше використовуються наступні правила переваги:

1) правило найкоротшої операції – з поточного портфелю робіт, які підготовлені до обробки на поточному верстаті, вибирається деталь з мінімальним часом обробки; мета правила – якнайшвидше завантажити роботою наступні за технологічним маршрутом верстат;

2) правило максимальної залишкової трудомісткості – з поточного портфелю робіт, які підготовлені до обробки, вибирається деталь з максимальною сумою часу обробки на усіх ще невиконаних операціях; мета правила – закінчити обробку всіх деталей приблизно одночасно;

3) правило вирівнювання завантаження верстатів – з портфелю робіт вибирається деталь, яка потім надходить на верстат, який має у даний час мінімальний за трудомісткістю портфель підготовлених робіт; мета правила – рівномірно завантажити верстат (правило можна використовувати при багатоваріантних маршрутах);

4) правило мінімальної залишкової трудомісткості – альтернатива правилу 2;

5) правило найдовшої операції – альтернатива правилу 1;

6) правило призначення у порядку надходження (FIFO) – з поточного портфелю робіт вибирається деталь, яка надійшла в чергу на обробку до верстата першою;

7) правило LIFO – альтернатива правилу 6.

Із наведених правил видно, що вони мають евристичний характер, тобто за їх допомогою неможливо встановити та оцінити наближення до оптимальності отриманого рішення, але можна виробити “добре” рішення в залежності від їх призначення по застосуванню чи від критерію функціонування виробничої системи, для якої розробляється розклад роботи.

Аналітико-імітаційні методи будуються за схемою, що передбачає використання одночасно як аналітичних, так і імітаційних процедур. Всі ці методи відрізняються один від одного підходом до черговості застосування аналітичних і імітаційних процедур.

Один з таких підходів передбачає двох-етапне розв'язання задачі. На першому етапі планується обробка невеликої кількості збільшених партій деталей на двох або трьох групах технологічного обладнання. Тобто проводиться зменшення розмірності задачі для того, щоб використати точні аналітичні методи, наприклад алгоритм задачі Джонсона. На другому етапі будуються уточненні календарні плани для кожної з створених груп обладнання з використанням імітаційних методів. Групування обладнання виконується за критерієм мінімізації кількості деталей, що проходять обробку більш, ніж у одній групі. Групування деталей виконується за критерієм мінімізації кількості обладнання, які обробляють більш, ніж одну групу деталей.

Таким чином, декомпозиція задачі планування дозволить суттєво зменшити розмірність, складність та прискорить розв'язання задачі. Проте існує залежність якості рішення від точності оцінок часу обробки збільшених партій деталей, що застосовуються на першому етапі. Тому при використанні такого підходу в аналітико-імітаційних методах необхідно розробляти декілька варіантів виконання першого етапу з метою проведення якісного аналізу отриманих результатів задачі.

#### 5.4. Організація оперативно-диспетчерського управління ГВС

Оперативна диспетчеризація пов'язана з визначенням фактичних моментів запуску деталей у виробництво та їх надходження на технологічне устаткування. При цьому враховуються витрати часу на підготовчо-заклучні операції, переналагодження, операції обслуговування та транспортування. Оперативна диспетчеризація здійснюється в реальному масштабі часу на

підставі результатів оперативного контролю і встановлених оперативним плануванням планових графіків запуску-випуску деталей. Тому синхронна модель роботи всіх одиниць устаткування (технологічних, транспортних) для використання на стадії оперативного контролю і оптимальна стратегія обслуговування запуску деталей у виробництво при регулюванні ходу виробничого процесу повинні бути результатами спільного розгляду задач оперативного планування й диспетчеризації.

Мове йде про те, що при оперативному плануванні необхідно детально проробити графік роботи всього комплексу обладнання або визначити план роботи тільки технологічного устаткування та встановити стратегію диспетчеризації операцій обслуговування й транспортування, а диспетчеризацію здійснити в режимі застосування синхронної моделі функціонування або в режимі прямої диспетчеризації транспортних операцій відповідно до стратегії обслуговування основного технологічного устаткування.

Отже, реалізація задач оперативного планування та оперативної диспетчеризації тісно взаємопов'язані, оскільки вибір алгоритму організації диспетчерського управління суттєво впливає на тривалість проходження партій деталей через виробничу систему, а саме на заплановані терміни запуску-випуску деталей на технологічному устаткуванні.

Безпосередньо ходом виробничого процесу керує підсистема оперативно-диспетчерського управління, яка відповідно до обраного алгоритму реалізує спланований розклад роботи устаткування.

Задача диспетчеризації полягає у наступному. Порядок проходження деталей (заявок на обробку) через технологічне устаткування відомий з розрахованого попередньо розкладу роботи. Необхідно організувати транспортне обслуговування встановленого порядку робіт із запуску-випуску деталей на технологічному устаткуванні. Критерієм оцінки ефективності задачі диспетчеризації є дотримання строків запуску-випуску деталей на технологічне устаткування відповідно до розробленого системою оперативного планування

розкладу роботи за рахунок своєчасного транспортного обслуговування заявок, що надходять від технологічного устаткування.

Кожний розрахунковий момент у процесі диспетчеризації визначається наявністю заявок на транспортне обслуговування деталей та вільними засобами транспортування. Кожна заявка характеризується місцем доставки деталі, директивним терміном завершення доставки (обумовленим графіком обробки деталі) та переліком можливих засобів її транспортування. Місце доставки визначає тип заявки обслуговування, а наявність декількох заявок або декількох вільних засобів обслуговування породжує конфлікт вибору заявки та призначення їй засобу обслуговування.

Отже, диспетчеризація повинна передбачати розв'язання наступних типів конфліктів:

- обслуговування заявок спільним засобом;
- надання засобів спільній заявці.

Стратегія (алгоритм) транспортного обслуговування будується на базі послідовного розв'язання конфлікту з вибору заявки та визначення засобу її подальшої реалізації.

Вибір заявки базується на встановленні її типу, серед яких є:

- заявки на обслуговування деталей, які повинні надійти з технологічного устаткування на склад;
- заявки на обслуговування деталей, які повинні надійти з одного технологічного устаткування на інше (у випадку неможливості виконання такого обслуговування воно може бути замінене на обслуговування через склад з тимчасовим зберіганням деталей і подальшим їх відправленням на необхідне устаткування);
- заявки на обслуговування деталей, які повинні надійти зі складу на технологічне устаткування.

Вибір заявки-претендента на обслуговування здійснюється за правилом переваги одного типу над іншим. Наприклад, спочатку розглядаються заявки першого, потім другого і надалі третього типів. Переваги типів заявок



визначаються пріоритетом на першочерговий порядок виконання операцій у виробничій системі.

Організація вибору претендента в середині кожного типу заявок здійснюється на базі пріоритетних правил переваги заявок:

- найкоротшої транспортної операції;
- найбільш критичний директивний термін запуску на технологічне устаткування;
- мінімальної залишкової трудомісткості технологічних операцій;
- мінімальної залишкової трудомісткості транспортних операцій;
- правила FIFO, LIFO та ін.

Призначення засобу обслуговування обраної заявки здійснюється на базі пріоритетів на надання устаткування. Стратегія надання може формалізувати один з наступних принципів адресування заявок вільному устаткуванню:

- заявка направляється на устаткування з мінімальним поточним завантаженням;
- заявка направляється на найближче за часом доставки устаткування;
- заявка направляється випадковим чином або за жорстко заданим пріоритетом.

Таким чином, загальний алгоритм диспетчерського управління на базі стратегії транспортного обслуговування складається з наступних етапів:

1. Виконати опитування ГВМ на завершення виконання технологічних операцій (відповідно до розкладу роботи у вигляді діаграми Ганта) і сформувати черги заявок на завантаження транспортних засобів.

2. Визначити порядок обслуговування заявок з черг вільних у поточний момент транспортних засобів відповідно до встановленого пріоритету заявок.

3. Для кожної обраної заявки призначити вільний транспортний засіб відповідно до обраної стратегії адресування заявок.

4. Завантажити транспортне устаткування і скоригувати всі черги завантаження, виключивши обрану заявку.

5. Повторювати алгоритм з п. 1, поки є заявки на транспортне обслуговування.

Результатом алгоритму є діаграма Ганта, в якій відтворені всі одиниці технологічного і транспортного устаконування, скоординовані всі операції обробки і обслуговування. Таку діаграму найчастіше називають технологічним розкладом (розширеним графіком) роботи ГВС.

### 5.5. Засоби моделювання дискретних процесів функціонування ГВС

Ефективним засобом моделювання дискретних процесів є сітки Петрі [2,Д1,Д4]. Їх основні властивості полягають у можливості відображення паралелізму, асинхронності, ієрархічності об'єктів, що моделюються, більш простішими засобами. Тому використання сіток Петрі для дослідження ієрархічних дискретних систем, зокрема ГВС, є кращим.

#### 5.5.1. Визначення мережі Петрі

Мережа Петрі - причинно-наслідкова модель уявлення подій, що виникають у процесі роботи дискретної системи [10]. Процеси, які моделюються, подаються як множина подій та умов. Події - це дії (наприклад, виконання технологічних операцій), послідовність наступу яких керується становищами системи. Становища системи визначаються сукупністю умов, серед яких виділяють:

- 1) передумови - пов'язані з фактом наступу події;
- 2) післяумови - пов'язані з фактом здійснення події. Таким чином мережа Петрі уявляється сукупністю пов'язаних подій та умов, що виникають у системі яка моделюється.

Для завдання мереж Петрі найчастіше використовують такі способи, як теоретико-множинне визначення, графічне уявлення та матричне подання.

### Теоретико-множинне визначення мереж Петрі.

Формально мережа Петрі  $N$  може бути задана у вигляді наступної п'ятірки елементів:

$$N = (P, T, F, H, M_0),$$

$$P = \{P_i | i=1, n\},$$

$$T = \{T_j | j=1, m\},$$

$$F: P \times T \Rightarrow \{0, 1, 2, \dots\},$$

$$H: T \times P \Rightarrow \{0, 1, 2, \dots\},$$

$$M_0: P \Rightarrow \{0, 1, 2, \dots\},$$

де  $P$  - множина позицій, які зображають умови в системі;

$T$  - множина переходів, які зображають події в системі;

$F, H$  - функції інциденцій позицій та переходів, що визначають доумови або постумови подій;

$M_0$  - початкове маркірування мережі.

Функція  $F$ , визначивши передумови здійснення подій, призначає кожному переходу вхідну множину позицій  $T_j = \{P_i | F(P_i, T_j) \neq 0\}$ , а функція  $H$ , визначивши післяумови, призначає кожному переходу вихідну множину позицій  $T_j = \{P_i | H(T_j, P_i) \neq 0\}$ . Маркірування  $M_0(P_i)$  означає кількість маркерів у позиції  $P_i$  мережі.

Слід зауважити, що перші чотири елементи визначають структуру системи, а останій елемент - динаміку поведінки системи, її початковий стан. Динаміка мережі пов'язана з рухом маркерів по позиціях (виконання умов у системі) у результаті спрацьовувань переходів (реалізації дій), внаслідок чого створюються нові маркування позицій  $M(P_i)$ . Тобто динаміка мережі Петрі відображає послідовність виконання запланованих дій, внаслідок яких система змінює своє становище.

### Графічне уявлення мереж Петрі.

Графічно мережа Петрі - це дводольний орієнтований мультиграф, де:

- дводольність означає наявність двох типів вершин (позицій та переходів);

- орієнтованість означає, що всі дуги мають певний напрямок;
- мультиграф - дуги можуть мати кратність (вона позначається значенням понад дугою або кількістю дуг).

Графічне уявлення пов'язане з теоретико-множинним визначенням наступним чином:

- 1) позиції відображаються кругами;
- 2) переходи відображаються рисками;
- 3) функції  $F$  і  $H$  - орієнтованими дугами, кількість або кратність яких визначається значенням функцій;
- 4) маркування мережі відображається кількістю маркерів у позиціях.

#### Матричне подання.

Матричне подання це аналітичний спосіб уявлення мережі Петрі. У цьому випадку функції інциденцій та початкове маркування зображаються у вигляді матриць розміром  $[n \times m]$

$$F = [F_{ij} | i=1, n; j=1, m],$$

$$H = [H_{ij} | i=1, n; j=1, m]$$

та вектором-стовпчиком розміром  $[n \times 1]$

$$M_0 = [M_{0i} | i=1, n],$$

де  $F_{ij} = F(P_i, T_j)$ ,  $H_{ij} = H(T_j, P_i)$ ,  $M_{0i} = M_0(P_i)$ .

#### 5.5.2. Правила роботи мережі Петрі

Робота (функціонування) мереж Петрі визначається як послідовність спрацьовування переходів, внаслідок чого відбувається зміна маркувань позицій.

Перехід може спрацьовувати, якщо він є збудженим.

Перехід  $T_j$  вважається збудженим, якщо виконується наступна умова:

$$\text{для усіх } P_i \in \text{ } T_j: M(P_i) \geq F(P_i, T_j).$$

Тобто виконуються доумови здійснення модельованої цим переходом події - у кожній вхідній позиції переходу кількість маркерів не менше кратності дуги, що їх з'єднує.

Тоді умова спрацьовування збудженого переходу  $T_j$  має такий вигляд:

$$\text{для усіх } P_i \in T_j': M'(P_i) = M(P) + N(T_j, P_i) - F(P_i, T_j).$$

Тобто при спрацьовуванні збудженого переходу маркування  $M$  замінюється маркуванням  $M'$  за правилом - з вхідних позицій переходу забирається певна кількість маркерів, яка визначається функцією  $F(P_i, T_j)$ , а вихідні позиції переходу отримують іншу кількість маркерів, яка визначається вже функцією  $N(T_j, P_i)$ .

Необхідно відмітити, що у разі використання матричного способу подання мереж Петрі умова збудження переходу  $T_j$  має вигляд  $M \geq F * U$ , а умова спрацьовування  $M' = M + (N - F) * U$ ,

де  $U = [U_j | j=1, m]$  - вектор-стовпчик розміром  $[m * 1]$ , у якого всі елементи дорівнюють 0, крім  $U_j = 1$ .

У будь-якому стані мережі Петрі може існувати декілька одночасно збуджених переходів. Але послідовність їх спрацьовування не встановлена і може бути будь-яка, але без одночасного спрацьовування переходів. Тому в мережах Петрі визначають декілька прийнятних послідовностей спрацьовувань переходів, що породжують послідовності виникаючих маркувань. Це відображає паралелізм та недетермінізм мереж Петрі.

Таким чином з функціонуванням мережі Петрі пов'язують дві послідовності:

- 1) послідовність спрацьовуючих переходів;
- 2) послідовність виникаючих (досяжних) маркувань. Ці послідовності є взаємопов'язаними.

Два маркірування  $M$  і  $M'$  вважаються безпосередньо досяжними, якщо у функціонуванні мережі існує перехід  $T_j$ , спрацьовування якого переводить мережу з  $M$  у  $M'$ :

$$\begin{array}{c} T_j \\ M \Rightarrow M'. \end{array}$$

Два маркування  $M$  і  $M'$  вважаються досяжними, якщо у функціонуванні мережі існує послідовність переходів  $G=(T_{j1}, T_{j2}, \dots, T_{jk})$ , яка переводить мережу з  $M$  у  $M'$  :

$$M \Rightarrow M',$$

тобто виникає послідовність безпосередньо досяжних маркірувань

$$\begin{array}{ccccccc} & T_{j1} & T_{j2} & & T_{jk} & & \\ M & \Rightarrow & M_1 & \Rightarrow & M_2 & \dots & M_k \Rightarrow M'. \end{array}$$

Таким чином, формально функціонування мережі подається:

- мовою мережі Петрі  $L(N)$  - множиною послідовностей спрацьовуючих переходів;

- множиною досягаємості  $R(N)$  - множиною маркувань, досяжних з початкового маркування.

Ці послідовності об'єднуються у рамках єдиної моделі уявлення роботи мережі - графа досягаємості - орієнтованого графа, вершинами якого є маркування з множини  $R(N)$ , а дугами є спрацьовуючі переходи з  $L(N)$ . Початковому маркуванню відповідає коренева вершина дерева, а дуги, відмічені переходами  $T_j$ , з'єднують вершини-маркування, що є безпосередньо досяжними при спрацьовуванні  $T_j$ . Дерево досягаємості в загальному випадку може бути нескінченним з вершинами таких типів: 1) внутрішнє маркування, яке є досяжним з початкового маркування та не є тупіковим; 2) тупікове маркування, з якого не може спрацьовувати ні один перехід; 3) дублююче маркування  $M_d$ , яке відповідає вже введеному раніше у дерево маркуванню  $M=M_d$  (але якщо на шляху з початкового маркування до  $M_d$  зустрічається маркування  $M$ , то  $M_d$  є маркуванням-циклом); 4) накопичуюче маркування  $M_n$ , відповідно якому на шляху від початкового маркування існує ішне маркування  $M$  таке, що  $M \leq M_n$ . Нескінченність дерева можливе тільки у випадку існування накопичуючих маркірувань, які породжують циклічне повторення однакових послідовностей спрацьовуючих переходів.

Для того, щоб побудувати скінченне дерево досягаємості і подати процес нескінченного накопичування маркерів у позиціях мережі, вводиться позначення у вигляді символу  $w$ , володіючого такими властивостями:

$$w + a = w, w - a = w, a < w.$$

Тоді алгоритм побудови скінченного дерева досягаємості базується на наступних положеннях:

1. Алгоритм послідовно обробляє вершини, перетворюючи кожен кінцеву (необроблену) в одну з типових - тупікову чи дублюючу.

2. Якщо поточне маркування  $M$  не кваліфікується як одна з двох наведених, то  $M$  стає внутрішньою для якої формується підмножина безпосередньо досяжних маркувань, котрі у дереві стають кінцевими вершинами. Нові кінцеві маркування  $M'$  визначаються за результатами спрацьовування збуджених у  $M$  переходів за наступними правилами:

- якщо  $M(P_i) = w$ , то  $M'(P_i) = w$ ;

- якщо на шляху з початкового маркування до  $M'$  існує таке маркування  $M''$ , що

$$M'' \leq M' \text{ і } M''(P_i) < M'(P_i), \text{ то } M'(P_i) = w;$$

- у противному разі  $M'(P_i)$  зберігає своє значення, отримане внаслідок спрацьовування переходу.

3. Коли усі вершини будуть оброблені алгоритм зупиняється.

Побудова скінченного дерева досягаємості дозволить практично використати його для дослідження властивостей мережі Петрі.

#### 5.5.4. Динаміка мереж Петрі

Метою якісного аналізу характеристик є виявлення неприпустимих станів і визначення умов нормального функціонування обладнання систем згідно завдання.

Мережі Петрі, як математичний засіб опису об'єктів які досліджуються, відображають логічну послідовність подій, що виникають у процесі їх функціонування, до яких відносять і виробничі системи. Ця послідовність подій

має характеристики паралельних процесів, якісний аналіз яких потребує визначення виконання у процесі функціонування системи наступних умов: 1) повторна ініціалізація операції в процесі припустима тільки після завершення попереднього виконання її у системі; 2) використання в дискретній системі ресурсів (обладнання) має кількісне обмеження по застосуванню; 3) у взаємодії частин паралельних процесів переміщення матеріальних потоків та надання розподілених ресурсів не повинно з'являтися блокувань розвитку подій, тупикових станів або заціклювань у виконанні послідовних дій. Поява тупикового стану означає, що процес руху матеріальних потоків припиняється або продовжує функціонувати по закнутому циклу не досягнувши свого кінцевого стану. Блокування розвитку подій означає, що в процесі надання розподілених ресурсів було застосовано конкурентне їх використання, яке призвело до неможливості їх надання й надалі.

Перевірка цих умов практично означає встановлення властивостей динаміки роботи мережі Петрі.

#### Визначення властивостей мережі Петрі.

Розглянемо мережу Петрі як математичну систему якісного аналізу динаміки роботи дискретного об'єкту. Визначимо, що структурні елементи мережі можуть інтерпретуватися наступним чином: позиції - це умови виконання або ознаки здійснення дій (операцій) на об'єкті-ресурсі (обладнанні), переходи - це події, що здійснюються на об'єкті у разі виконання необхідних умов, маркірування - це поточний стан об'єкту. При описі процесів об'єкту мережами Петрі будь-яке маркування мережі асоціюється з визначеним станом об'єкту який моделюється. Спрацьовування будь-якого переходу  $T_j$  мережі  $N$  пов'язане із зміною його стану (виконанням елементарної дії у процесі). Тому статичні властивості об'єкту визначає графова частина мережі Петрі, а динамічні - початкове маркування і правила збудження-спрацьовування переходів, що відображає моделювання роботи об'єкту.

Основними властивостями мережі Петрі є обмеженість, безпечність, живість, збереженість.



## 1. Обмеженість та безпечність мережі.

Позицію  $P_i$  називають  $k$ -обмеженою, якщо кількість маркерів у цій позиції не перевищує деяке число  $k$  для усіх досяжних маркувань з множини  $R(N)$ , тобто

$$\text{для усіх } M \in R(N) \text{ існує } k: M(P_i) \leq k.$$

У свою чергу, мережа Петрі є  $k$ -обмеженою, якщо усі позиції мережі є  $k$ -обмеженими. Тобто, якщо у мережі позиції  $P_i$  обмежені числами  $k_1, k_2, \dots$ , то в цілому мережа Петрі буде  $k$ -обмеженою, причому  $k = \max\{k_1, k_2, \dots\}$ . Інакше кажучи, для кожної позиції мережі у всіх маркуваннях з  $R(N)$  існує єдина кінцева кількість маркерів, що з'являються там одночасно.

У випадку, коли  $k=1$ , отримуємо частковий випадок обмеженості - безпечна позиція та безпечна мережа.

Мережа  $N$  вважається безпечною, якщо при всіх досяжних маркуваннях її позиції не можуть мати більше одного маркеру.

Обмеженість свідчить про кінцевий стан окремих елементів системи, яка моделюється мережею Петрі, а безпечність визначає факт виконання умов при роботі об'єкту моделювання. Отже, якщо накопичувач обладнання має обмежену місткість, то позиція яка відображає факт накопичення маркерів-деталей матеріального потоку повинна бути обмеженою, а якщо обладнання зайняте виконання поточної операції, то позиція яка відображає цей факт повинна бути завжди безпечною у мережі Петрі.

## 2. Збереженність мережі.

Мережа Петрі називається зберігаючою по відношенню до вагового вектору  $Z=(Z_i|i=1,n)$ , якщо для кожного  $M \in R(N)$  виконується умова:

$$\sum [(Z_i * M(P_i)), i=1,n] = \sum [(Z_i * M_0(P_i)), i=1,n] = \text{Const.}$$

Якщо  $Z_i=1$  для усіх  $i=1,n$ , то мережа називається суворо зберігаючою. Необхідною умовою збереження є обмеженість мережі, а достатнім - наявність вектора  $Z$ .

Мережа є зберігаючою, якщо існує рішення системи  $R * S = \text{Const}$ , де рішенням є вектор  $S$ , а  $R$  - матриця досяжних маркірувань з  $R(M)$ .

Зберігання мережі свідчить про неможливість знищення або виникнення додаткових ресурсів у системі яка моделюється. Наприклад, кількість обладнання незмінне до кінця роботи системи, або всі деталі повинні пройти обробку, змінивши свої властивості чи перетворитися у нові деталі.

### 3. Живість мережі.

Живість - це властивість, що пов'язана з відсутністю тупикових ситуацій (блокувань) та зациклювань процесу функціонування мережі. Об'єкти, моделі яких володіють властивістю живості, можуть переходити з будь-якого досяжного стану в інше, у тому числі і в початкове.

Мережу вважають живою, якщо виконуються дві умови:

$T_j$

1) для усіх  $T_j \in T$  існує  $M_l, M_k \in R(N)$ :  $M_l \Rightarrow M_k$ , тобто будь-який перехід повинен спрацювати при моделюванні роботи мережі (отже будь-яка дія буде завжди виконана в системі);

2) для усіх  $M_l, M_k \in R(N)$ :  $M_l \Rightarrow M_k$ , тобто в мережі існує взаємодосяжність маркувань, у тому числі і початкового маркування, що визначає відсутність тупиків та зациклювань у роботі мережі (отже процес функціонування системи завжди завершується нормально, повернувшись у початковий стан).

Маркування  $M \in R(N)$  називають тупиковим, якщо в цьому стані жоден з переходів не може спрацювати. Мережа, що має тупикові маркування є не живою.

Якщо у мережі  $N$  є позиції  $P_i$  для яких  $F(P_i, T_j)=0$  або  $H(T_j, P_i)=0$ , а мережа  $N'$ , що є частиною  $N$  без таких позицій є живою, то мережу  $N$  вважають умовно живою.

#### 5.5.5. Методи аналізу властивостей мережі Петрі

Використовуються такі методи аналізу властивостей мережі Петрі:

- 1) дослідження структури дерева досягаємості;
- 2) дослідження матричного подання мережі Петрі;

Визначення властивостей мережі Петрі на обмеженість та безпечність за допомогою дерева досяжності передбачає дослідження кожної вершини графу на поточну кількість маркерів в кожній позиції, а живість встановлюється за умови виконання наступних вимог:

- в позначках дуг використані усі переходи мережі;
- немає вершин, що позначають тупікові та накопичуючі маркування;
- усі циклічні повторення вершин мають вихід з цього, що веде до початкової вершини;
- існує цикл у початкове маркування.

Проте визначити властивість зберігаємості мережі, використавши дерево досяжності не можливо.

Отже, перевірка властивостей мереж може виконуватись шляхом побудови і аналізу дерева досягаємості, але це потребує встановлення усіх досяжних у мережі маркувань, що є важкою задачею повного перебору станів. Тому існує інший спосіб, який уявляє собою структурний аналіз мережі, заснований на матриці інциденцій і початкового маркування [9].

Виходячи із умов збудження та спрацьовування переходів, динаміку мережі в просторі станів (маркувань) можна описати таким рекурентним рівнянням (рівнянням стану мережі):

$$M_k = M_{k-1} + A * U_k ; k = 1, 2, \dots \quad (5.1)$$

де  $M_k$  - стан, у який перейде мережа з стану  $M_{k-1}$  у результаті  $k$ -го впливу  $U_k$  (спрацьовування переходу);  $U_k = [U_{jk}]$  - керуючий вектор, компонента якого  $U_{jk} = 1$ , якщо в  $k$ -й момент асинхронного часу виникає спрацьовування переходу  $T_j$ , або  $U_{jk} = 0$ , якщо спрацьовування не відбувається;  $A = [A_{ij}]$  - матриця інциденцій позицій та переходів, елементи  $A_{ij}$  якої дорівнюють 1, -1 або 0, коли, відповідно, перехід  $T_j$  має 1 вихідних дуг до позиції  $P_i$ , 1 вхідних дуг з позиції  $P_i$ , або не має зв'язку з позицією  $P_i$ .

Матрицю  $A$  можна розрахувати на підставі операції над матрицями  $F=[F_{ij}]$  і  $H=[H_{ij}]$ , які задають кількість дуг, що виходять відповідно з позицій  $i$  і переходів

$$A = H - F,$$

тобто елементи  $F_{ij}$  задають кількість маркерів, які потрібно забрати з позиції  $P_i$  при спрацьовуванні переходу  $T_j$ , а елементи  $H_{ij}$  визначають кількість маркерів, які направляються у позицію  $P_i$  при спрацьовуванні переходу  $T_j$ .

Очевидно, що в будь-якому стані компоненти вектора маркірування не можуть бути від'ємними. Вони можуть приймати лише нульові або додатні цілочисельні значення. Ця умова у матричному запису має вид  $M_k \geq 0$  для всіх  $k$ . Враховуючи останнє, з рівняння станів одержуємо  $M_{k-1} + A * U_k \geq 0$ , а послідовність маркувань (5.1) можна замінити єдиним виразом через початкове маркування  $M_0$  і вектор підрахунку спрацьовувань:

$$S = \sum [U_k, k=1,2,3,\dots]; S = [S_j | j=1,m]. \quad (5.2)$$

Елемент  $S_j$  вказує, яку кількість разів спрацьовує перехід  $T_j$  в послідовності маркувань, яка йде від  $M_0$  к  $M_k$ . Враховуючи рівняння (4.2), з (5.1) одержимо:

$$M_k = M_0 + A * S \quad (5.3)$$

Або увівши вектор зміни маркування

$$dM = M_k - M_0,$$

з рівняння (5.3) одержимо рівняння

$$A * S = dM \quad (5.4)$$

Всі можливі рішення даного рівняння можна отримати за допомогою одного з методів рішення задач цілочисельного програмування.

Розглянемо використання методів лінійної алгебри в розв'язанні рекурентних рівнянь зміни станів моделі мережі. Вони дозволяють на основі математичного дослідження структури біграфа мережі і початкового маркування  $M_0$  оцінити такі якісні характеристики мережі як обмеженість, живість.

Цілочисельний вектор  $X = [X_i | i=1, n]$ , який є рішенням лінійної системи

$$A \sim * X = 0 \quad (5.5)$$

називається  $p$ -інваріантом.

Розглянемо рівняння (5.1), обидві частини якого помножимо на транспонований вектор  $X \sim$  ( $\sim$  - позначка транспонування):

$$X \sim * M = X \sim * M_0 + X \sim * A * S \quad (5.6)$$

Враховуючи (5.5) і те, що  $A \sim * X = X \sim * A$ , з виразу (5.6) одержимо:

$$X \sim * M = X \sim * M_0 \quad (5.7)$$

Тобто, будь-який  $p$ -інваріант характеризує всі досяжні маркування мережі з точки зору збереження деяких властивостей процесів. Якщо позначити

$$X \sim * M_0 = K_0,$$

де  $K_0$  - константа, то інваріантність маркувань мережі представимо у вигляді співвідношення-рівності:

$$X \sim * M = K_0 = \text{const} \quad (5.8)$$

Вектор  $X$  тому називають  $p$ -інваріантом, що він визначає властивості структури мережі у розподілі маркерів за позиціями  $P_i$  незалежно від будь-якого досяжного маркування.

Враховуючи, що система (5.5) може мати нескінченну кількість рішень, фундаментальною системою розв'язків системи лінійних однорідних рівнянь називають таку сукупність рішень, за допомогою якої виражаються всі інші розв'язки. Якщо ранг матриці  $A$  дорівнює числу невідомих ( $r=n$ ), то система (5.5) має тільки нульове рішення. Якщо  $r < n$ , то система (5.5) окрім нульового має нескінченну множину інших рішень, причому фундаментальна система складається з  $(n-r)$  векторів  $X$ . Ранг матриці  $A = [a_{ij}]$  розміром  $(n \times m)$  дорівнює найвищому порядку відмінного від нуля визначника, одержанного викреслюванням  $(n-r)$  стовпців і  $(m-r)$  рядків з матриці  $A$ . Таким чином, всі інваріанти  $X$  для маркувань мережі можна отримати з  $(n-r)$  базисних рішень. Об'єднавши записані у вигляді векторів-рядків рішення фундаментальної

системи, одержимо матрицю інваріантів чи базисних рішень  $V$ . Тоді для будь-якого досяжного маркування подібно рівнянню (5.7) матиме

$$V * M = V * M_0 = K_0 \quad (5.9)$$

Якщо всі компоненти  $r$ -інваріанту невід'ємні, його називають  $r$ -ланцюгом. Повний  $r$ -ланцюг - це  $r$ -інваріант, всі компоненти якого додатні, тобто повний  $r$ -ланцюг містить у собі всі позиції мережі. Мережа Петрі інваріантна (зберігаюча), якщо для неї існує повний  $r$ -ланцюг. Повний  $r$ -ланцюг потрібно шукати серед усіх рішень фундаментальної системи  $V$  або їх лінійної комбінації.

Інваріантна мережа Петрі є обмеженою, але обмежена мережа може бути не інваріантною, тобто не мати повного ланцюга. Це впливає з того, що якщо  $X$  - повний  $r$ -ланцюг і  $X \sim * M = K_0$ , то зважена сума маркерів за всіма позиціями  $\sum [(X_i * M_i), i=1, n] = K_0$  є обмеженою. А оскільки  $X_i$  - додатні і вся сума обмежена, то і маркування всіх позицій мережі  $M_i \leq K_0 / X_i$  обмежені. Слід зауважити, що якщо повний  $r$ -ланцюг є одиничним вектором і  $K_0 = 1$ , то мережа є безпечною.

Розглянемо наступну характеристику мережі - живість, визначення якої базується на обчисленні  $t$ -інваріантів.

Цілочислений вектор  $Y = [Y_j | j=1, m]$  називається  $t$ -інваріантом, якщо він є розв'язком лінійної однорідної системи

$$A * Y = 0 \quad (5.10)$$

Якщо значення  $t$ -інваріанту підставити в рівняння (5.3) замість вектора підрахунку спрацьовувань  $S$ , то виявиться, що

$$M = M_0 + A * Y = M_0.$$

Звідси випливає, що якщо  $Y \neq 0$ , то мережа стійка, тобто після деяких спрацьовувань переходів вона повертається в початковий стан  $M_0$ . Стійкість мережі пов'язана з її циклічною повторюваністю, починаючи зі стану  $M_0$ . Слід зазначити, що серед рішень системи (5.10) можуть бути і такі вектори  $Y$ , компоненти яких від'ємні.

Повний t-ланцюг - це t-інваріант, всі компоненти якого додатні. Повний t-ланцюг включає в собі усі переходи мережі. Якщо мережа має повний t-ланцюг, то вона стійка, що є тільки необхідною умовою живості при будь-якому початковому маркуванні, оскільки встановлено, що в послідовності маркувань від  $M_0$  до  $M=M_0$  спрацьовують всі переходи, але не визначено чи існують тупікові маркування. Пошук повного t-ланцюга здійснюється подібно до пошуку повного p-ланцюга. Таким чином, якщо мережа жива, то вона стійка.

Вирішимо питання знаходження тупікових станів. Тупік це досяжний з початкового маркування стан у якому не збуджений жоден з переходів мережі. Запишемо умову збудження переходу  $T_j$  у наступному виді:

$$\sum [(F_{ij} * M_i), i=1,n] \geq \sum [F_{ij}, i=1,n], j=1,m$$

або

$$F * M \geq F * E,$$

де  $E$  - одиничний вектор.

Оскільки множина досяжних маркувань  $R(N)$  повинна задовольняти умові (5.9), то відсутність збуджуваних переходів для  $M \in R(N)$  слід визначити з розв'язку такої системи

$$B * M = B * M_0 \tag{5.11}$$

$$F * M = F * E - E$$

Якщо ця система має рішення, то деяке її маркування є тупіковим, в іншому випадку мережа не має тупіків і є живою.

Важкість застосування матричного дослідження складається в тому, що розв'язання рівнянь є необхідним для визначення живості і потребує знаходження рангу матриці, що є складною задачею при великій розмірності матриці мережі Петрі. Крім того, розв'язкам можуть відповідати недопустимі послідовності запуску переходів або взагалі декілька послідовностей.

5.5.7. Методика мережного моделювання процесів функціонування виробничих систем

Оснoву формалізованого подання функціонування виробничої системи при вирішенні задач оперативного управління складає принцип відображення в моделі матеріально-транспортних зв'язків виробничих процесів при організації обслуговування роботи основного технологічного обладнання [Д1]. Цей принцип передбачає, що процедура побудови моделі задовольняє вимогам модульності і структурної подібності.

Модульність визначає поділ модельованого об'єкту на елементи (модулі), для кожного з яких будується власна модель. Модуль уявляє собою достатньо автономний з технологічної точки зору об'єкт, тобто з відносно невеликою кількістю зв'язків цього об'єкту з іншими.

Структурна подібність полягає у тому, що кожному значущому структурному елементу об'єкта ставиться у відповідність набір елементів моделі, інформаційний стан яких однозначно визначає функціональний стан об'єкту.

Моделі модулів агрегуються для отримання узагальненої моделі системи. Такий підхід до подання дозволить сформувати модель інваріантну до технологій виробничих процесів, одиниць матеріальних потоків, станів виробничого обладнання, які будуть виступати в якості параметрів моделі.

Складання моделі функціонування системи здійснюється поетапно.

Етап 1. Визначення схем руху предметів виробництва по обробних ресурсах і виділення типових операцій і процесів.

1) визначення складу операцій процесів функціонування окремих елементів системи на підставі аналізу розширеної діаграми розкладу роботи ГВМ та транспортуванн АТМ;

2) визначення умов виконання операцій на підставі класифікації операцій та структурно-компонувальної схеми ГАД (рис. 6);



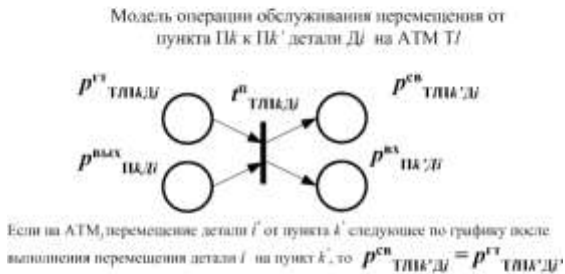
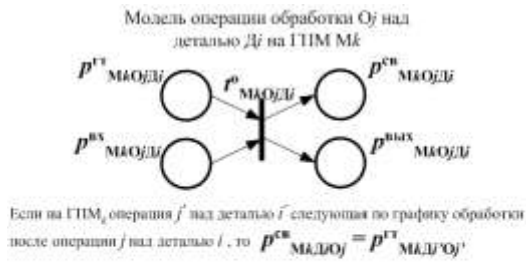


Рис.6. Описание моделей типовых операций устаткування ГАД

3) складення графа (діаграми) взаємозв'язків операцій процесів функціонування кожного елемента (устаткування) системи (рис. 7);

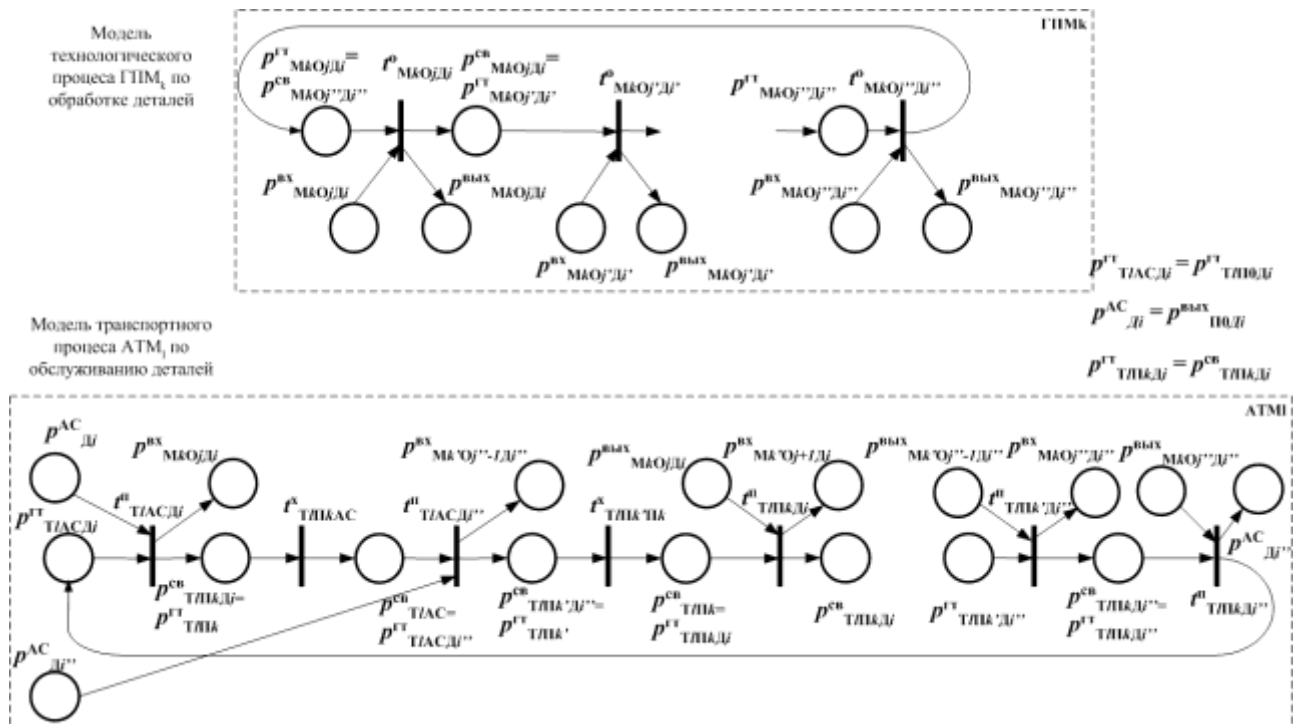


Рис. 7. Описание моделей процессов функционирования устаткування ГАД

Етап 2. Структуризація повного опису функціонування системи.

Виконується композиція графів процесів у єдину модель-сітку функціонування системи (рис. 8). Композиція проводиться через об'єднання спільних операцій та умов їх виконання. У сітці операції подаються переходами, умови – позиціями, а в цілому модель є сіткою Петрі з невизначеним початковим маркуванням.

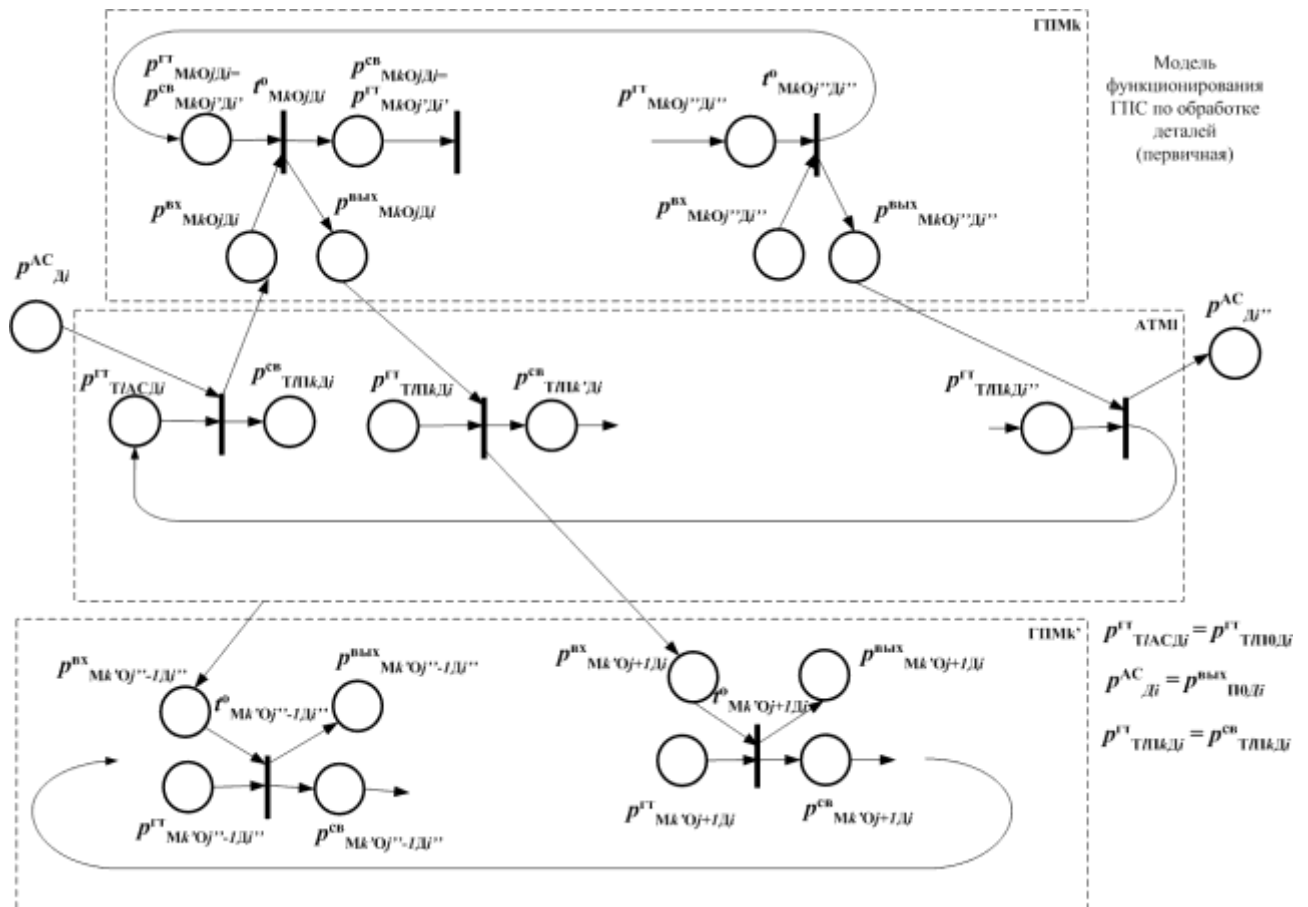


Рис. 8. Опис первинної моделі функціонування ГАД

Етап 3. Формування опису матеріальних потоків і станів виробничих ресурсів.

На функціонування накопичувачів та роботу ГВМ накладаються деякі обмеження, пов'язані із забезпеченням вимог на порядок ініціювання технологічної операції на обладнанні (рис. 9). Це:

- транспортний модуль не може привезти наступну деталь на обробку, поки завантажений вхідний накопичувач ГВМ;

- обробка деталі з вхідного накопичувача не може початися на ГВМ, поки зайнятий вихідний накопичувач;
- після завершення обробки деталь одночасно надходить до вихідного накопичувача ГВМ.

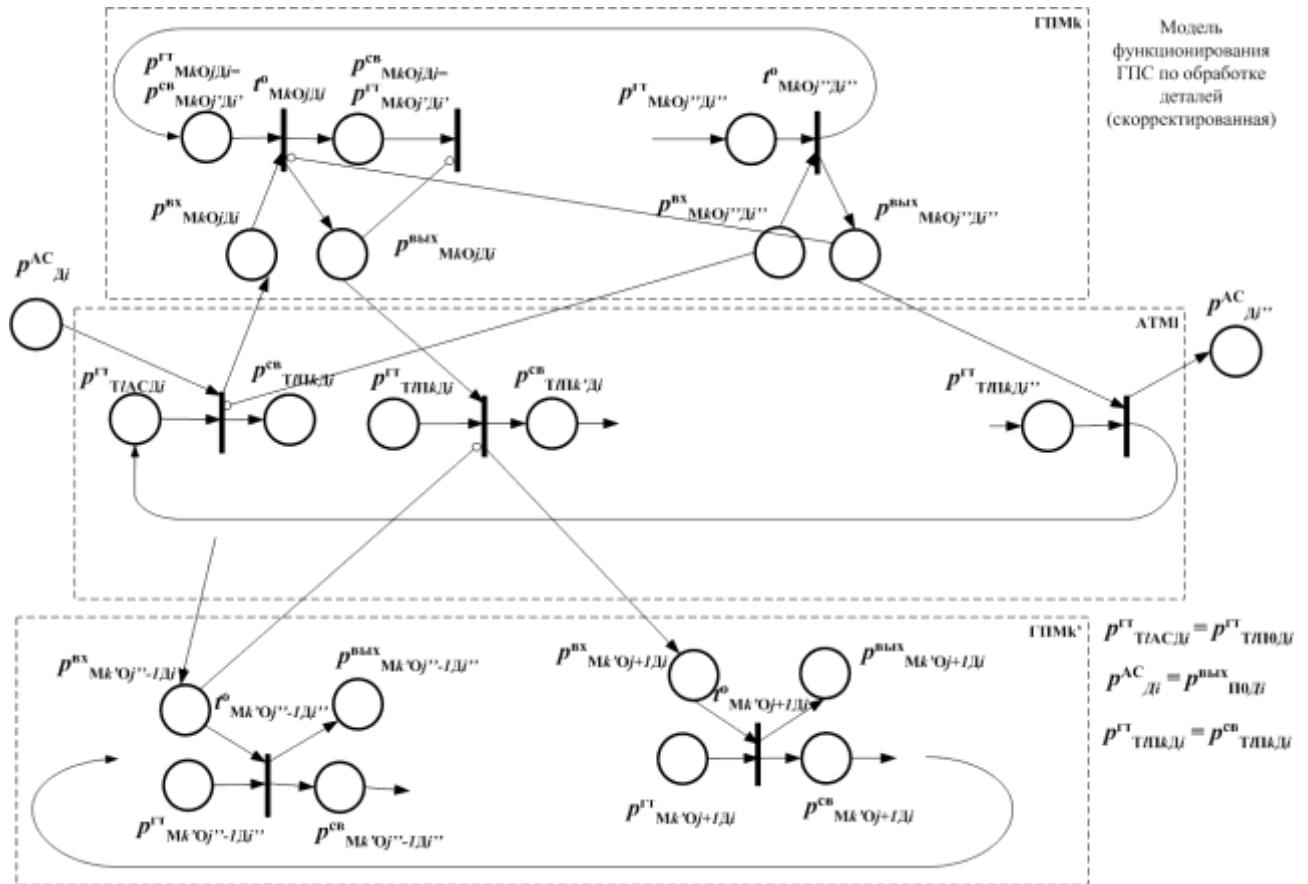


Рис. 9. Опис зкоригованої моделі функціонування ГАД

#### Етап 4. Визначення початкового стану системи.

Позначається у виді початкового маркування позицій устаткування ГАД відповідно наступних умов:

- усі АТМ знаходяться біля пункту передачі АС;
- усі ГВМ вільні і готові до виконання першої обробки відповідно свого графіку розкладу роботи;
- усі деталі знаходяться на АС.

Зміст методики розкриємо на прикладі опису роботи ГВМ з двома накопичувачами та 1 АТМ (для прикладу взято 1 АТМ, хоча транспортні заявки оброблюють 4 АТМ), використовуючи розширену діаграму Ганта та інгібіторні

сітки Петрі. ГВМ оброблює наступні деталі: 10 на першій операції, 7 на другій операції (після ГВМ2), 1 на 5 операції (після ГВМ 2), 2 на 5 операції (після ГВМ2), 7 на 7 операції (після ГВМ2), 5 на 7 операції (після ГВМ2), 6 на 7 операції (після ГВМ2).

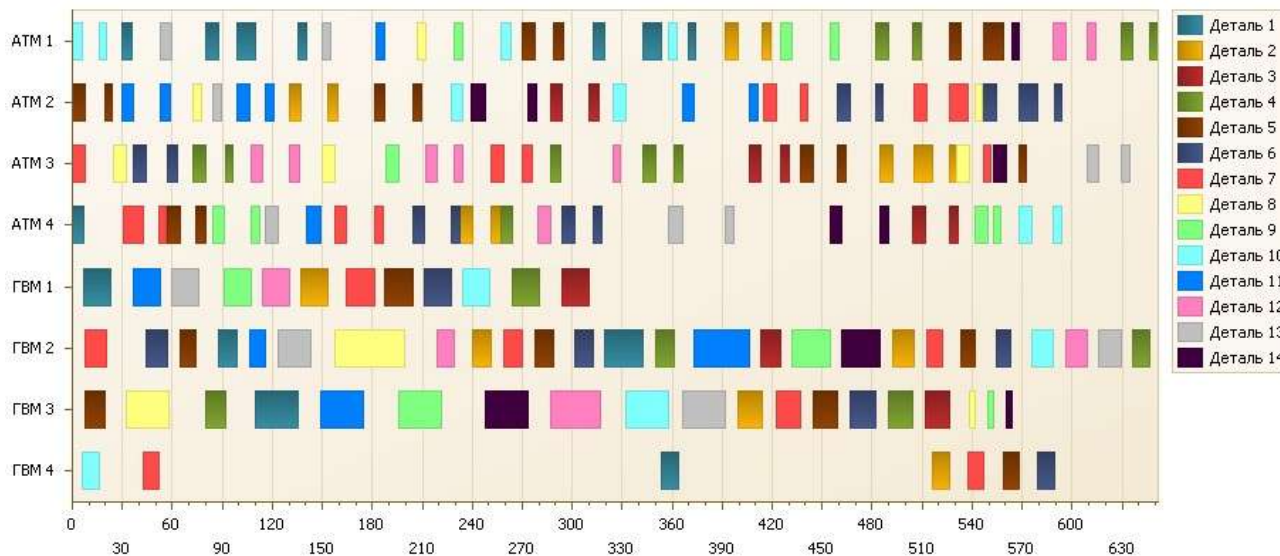


Рис 10. Розширена діаграма Ганта

Побудована мережа буде мережею з інгібіторними дугами, тому що необхідно накласти додаткові обмеження на певні умови виконання процесів системи:

- деталь не може бути завантажена у вхідний накопичувач ГВМ, поки він не звільниться в результаті початку операції обробки;
- деталь не може бути оброблена на ГВМ, поки не звільниться його вихідний накопичувач

Щоб побудувати мережу Петрі треба визначити переходи та позиції, переходи позначають дії в системі, а позиції – стани системи.

Таблиця 16

#### Переходи для ГВМ4

Перхід	Опис
T58	ГВМ4 обробляє Д10 на 1 операції
T59	ГВМ4 обробляє Д7 на 2 операції
T60	ГВМ4 обробляє Д1 на 5 операції
T61	ГВМ4 обробляє Д2 на 5 операції
T62	ГВМ4 обробляє Д7 на 7 операції
T63	ГВМ4 обробляє Д5 на 7 операції

Потрібно співставити перехід та позиції, що йому відповідають. При цьому слід пам'ятати, що для того, щоб ГВМ розпочав обробку, необхідно, щоб деталь знаходилася у вхідному накопичувачі, після обробки деталь потрапляє у вихідний накопичувач, а ГВМ переходить у стан готовності обробки наступної деталі. Щоб врахувати обмеження, які ми наклали на роботу системи, слід додати позиції-інгібітори, тобто поки деталь знаходиться у вихідному накопичувачі, ГВМ не може розпочати обробку наступної деталі.

Таблиця 17

Перехід	Позиція	Опис	Вхід/вихід	Інгібітор
T58	P4_1	ГВМ4 готовий обробити Д10 на 1 операції	вхід	
	P4_2	Д10 у вхідному накопичувачі ГВМ4 перед 1 операцією	вхід	
	P4_3	Д10 у вихідному накопичувачі ГВМ4 після 1 операції	вихід	
	P4_4	ГВМ4 готовий обробити Д7 на 2 операції	вихід	
T59	P4_21	Д6 у вихідному накопичувачі ГВМ4 після 6 операції		інгібітор
	P4_4	ГВМ4 готовий обробити Д7 на 2 операції	вхід	
	P4_5	Д7 у вхідному накопичувачі ГВМ4 після 1 операції	вхід	
	P4_6	Д7 у вихідному накопичувачі ГВМ4 після 2 операції	вихід	
	P4_7	ГВМ4 готовий обробити Д1 на 5 операції	вихід	
	P4_3	Д10 у вихідному накопичувачі ГВМ4 після 1 операції		інгібітор
	T60	P4_7	ГВМ4 готовий обробити Д1 на 5 операції	вхід
P4_8		Д1 у вхідному накопичувачі ГВМ4 після 4 операції	вхід	
P4_9		Д1 у вихідному накопичувачі ГВМ4 після 5 операції	вихід	
P4_10		ГВМ4 готовий обробити Д2 на 5 операції	вихід	
P4_6		Д7 у вихідному накопичувачі ГВМ4 після 2 операції		інгібітор
T61		P4_10	ГВМ4 готовий обробити Д2 на 5 операції	вхід
	P4_11	Д2 у вхідному накопичувачі ГВМ4 після 4 операції	вхід	
	P4_12	Д2 у вихідному накопичувачі ГВМ4 після 5 операції	вихід	
	P4_13	ГВМ4 готовий обробити Д7 на 7 операції	вихід	
	P4_9	Д1 у вихідному накопичувачі ГВМ4 після 5 операції		інгібітор
T62	P4_13	ГВМ4 готовий обробити Д7 на 7 операції	вхід	
	P4_14	Д7 у вхідному накопичувачі ГВМ4 після 6 операції	вхід	
	P4_15	Д7 у вихідному накопичувачі ГВМ4 після 7 операції	вихід	
	P4_16	ГВМ4 готовий обробити Д5 на 7 операції	вихід	
	P4_12	Д2 у вихідному накопичувачі ГВМ4 після 5 операції		інгібітор
T63	P4_16	ГВМ4 готовий обробити Д5 на 7 операції	вхід	
	P4_17	Д5 у вхідному накопичувачі ГВМ4 після 6 операції	вхід	
	P4_18	Д5 у вихідному накопичувачі ГВМ4 після 7 операції	вихід	
	P4_19	ГВМ4 готовий обробити Д6 на 6 операції	вихід	
	P4_15	Д7 у вихідному накопичувачі ГВМ4 після 7 операції		інгібітор
T64	P4_19	ГВМ4 готовий обробити Д6 на 6 операції	вхід	
	P4_20	Д6 у вхідному накопичувачі ГВМ4 перед 6 операцією	вхід	
	P4_21	Д6 у вихідному накопичувачі ГВМ4 після 6 операції	вихід	
	P4_1	ГВМ4 готовий обробити Д10 на 1 операції	вихід	
	P4_18	Д5 у вихідному накопичувачі ГВМ4 після 7 операції		інгібітор

Так як виробництво не обмежується однією партією деталей, після закінчення циклу обробки ГВМ переходить у початковий стан для виготовлення наступної партії деталей. Тому слід додати відповідні позиції в мережу Петрі.

## ГВМ4

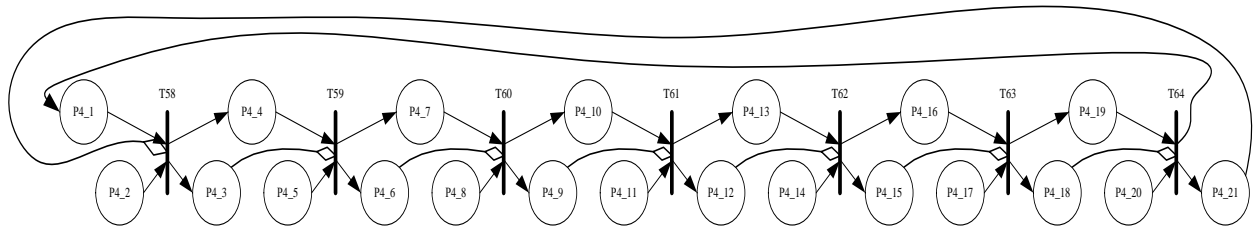


Рис. 11 Модель мережі Петрі для ГВМ4

Аналогічним чином будується мережа Петрі для АТМ. Тільки слід перевіряти умову: деталь не може бути завантажена у вхідний накопичувач ГВМ, поки він не звільниться в результаті початку операції обробки. В мережі Петрі це задається відповідним інгібітором.

Після побудови моделі функціонування ГАД і визначення її початкового маркування виконується перевірка коректності функціонування устаткування ГАД за побудованою моделлю. Для цього застосовується або метод побудови дерева досяжності або інваріантний метод аналізу з метою встановлення та інтерпретування функціональних властивостей мережі Петрі. Робляться висновки про доцільність застосування побудованої моделі як алгоритма управління устаткуванням ГАД для виконання виробничої програми.

## Список рекомендованой литературы

### 1. Перелік основної літератури

1. Основы автоматизации управления производством/Под ред. И.М.Макарова, - М.:Высш.шк., 1983. -504с.

2. Питерсон Дж. Теория сетей Петри и моделирование систем. - М.: Мир, 1984. - 325с.

3. Сосонкин В.Л. Программное управление технологическим оборудованием.- М.:Высш.шк., 1991.- 512с.

4. Ямпольский Л.С., Банашак З. Автоматизация проектирования и управления в гибком производстве. - К.: Техника, Варшава: Научно-техническое издательство, 1989. -268с.

### 2. Перелік додаткової літератури

Д1. Управление дискретными процессами в ГПС/Под ред. Ямпольского Л.С. -К.: Техника, 1992. -251с.

Д2. Управление ГПС: модели и алгоритмы/Под общ. ред. С.В.Емельянова. - М.: Машиностроение, 1987. -368с.

Д3. Робототехника и ГАП. В 9-ти кн. Кн.3. Управление робототехническими системами и гибкими автоматизированными производствами / Под ред. Макарова И.М. -М.:Высш.шк., 1986. -159с.

Д4. Робототехника и ГАП. В 9-ти кн. Кн.5. Моделирование робототехнических систем и гибких автоматизированных производств / Под ред. Макарова И.М. -М.:Высш.шк., 1986. -159с.

Д5. Блехерман М.Х. Оперативно-производственное планирование гибких производственных систем. - М.:Высш.шк., 1989. -95с.

Д6. Васильев В.В., Кузьмук В.В. Сети Петри, параллельные алгоритмы и модели мультипроцессорных систем. – К.: Наукова думка, 1990.- 216с.

Д7. Зайченко Ю.П. Дослідження операцій.- Київ : Вища школа, 1988.

Д8.Коровин Б.Г., Прокофьев Г.И., Рассудов Л.Н. Системы программного управления промышленными установками и робототехническими комплексами.– Л.: Энергоатомиздат, 1990. –352с.

Д9.Косовский В.Л., Козырев Ю.Г. Программное управление станками и промышленными роботами.- М.:Высш.шк., 1989.- 287с.

Д10.Котов В.Е. Сети Петри. - М.: Наука, 1984. - 245с.

Д11.Лазарев В.Г., Пийль Е.И. Синтез управляющих автоматов. - М.: Энергоатомиздат, 1989. -328с.

Д12.Лысенко Э.В. Проектирование автоматизированных систем управления технологическими процессами.- М.:Радио и связь, 1987.- 272с.

Д13.Слепцов А.И., Юрасов А.А. Автоматизация проектирования управляющих систем гибких автоматизированных производств. -К.: Техника, 1986. -110с.

Д14.Соломенцев Ю.М., Сосонкин В.Л. Управление гибкими производственными системами.- М.:Машиностроение, 1988.- 352с.

Д15.Юдицкий С.А., Магергут В.З. Логическое управление дискретными процессами. Модели, анализ, синтез. -М.: Машиностроение, 1987. -176с.

Д16.Шкурба В.В. Задачи календарного планирования и методы их решения.- К.:Наукова думка, 1966



**Додаток 1. Форма КП-2 “Титульний аркуш”**

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ  
НАЦІОНАЛЬНИЙ ТЕХНІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ УКРАЇНИ  
«КИЇВСЬКИЙ ПОЛІТЕХНІЧНИЙ ІНСТИТУТ ім.І.Сікорського»  
КАФЕДРА ТЕХНІЧНОЇ КІБЕРНЕТИКИ

## КУРСОВИЙ ПРОЕКТ

з дисципліни  
"ГНУЧКІ КОМП'ЮТЕРИЗОВАНІ СИСТЕМИ"  
кредитного модуля  
"АЛГОРИТМІЗАЦІЯ ТА ВЕРИФІКАЦІЯ УПРАВЛІННЯ В ГНУЧКИХ  
КОМП'ЮТЕРИЗОВАНИХ СИСТЕМАХ"  
на тему:  
*«Створення алгоритмічного та програмного забезпечення системи  
оперативного управління гнучкої автоматизованої ділянки»*

**Керівник:** доц. Остапченко К.Б.

Допущено до захисту  
"\_\_\_" \_\_\_\_\_ 20\_\_р.

Захищено з оцінкою  
\_\_\_\_\_

**Виконав:** \_\_\_\_\_

студент 3 курсу

групи ІК-\_\_

залікова книжка

№ ІК-\_\_\_\_\_

КИЇВ 20\_\_

**Додаток 2. Форма КП-3 “Завдання на курсове проектування”**

**Міністерство освіти і науки України**  
**Національний технічний університет України**  
**"Київський Політехнічний Інститут ім.І.Сікорського"**

Кафедра \_\_\_\_\_ Технічної Кібернетики \_\_\_\_\_

Кредитний модуль \_\_\_\_\_ ГКС-4. Алгоритмізація та верифікація управління в ГКС \_\_\_\_\_

Спеціальність \_\_\_\_\_ 126 Інформаційні системи та технології \_\_\_\_\_

Курс \_\_\_\_\_ III \_\_\_\_\_ Група \_\_\_\_\_ ІК- \_\_\_\_\_ Семестр \_\_\_\_\_ VI \_\_\_\_\_

**ЗАВДАННЯ**  
на курсовий проект студента

\_\_\_\_\_ (прізвище, ім'я та по-батькові)

1. Тема роботи: *створення алгоритмічного та програмного забезпечення системи оперативного управління гнучкої комп'ютеризованої ділянки.*
2. Термін здачі студентом завершеного проекту (роботи): *03.06.2015р.*
3. Вхідні дані до проекту (роботи):  
*Кількість ГВМ – 4 модулі з двома накопичувачами;*  
*Кількість транспортних модулів, що обслуговують ГВМ – 4;*  
*Номенклатурний склад деталей – 14 одиниць.*  
*Транспортна схема ГАД – кільцева. АС з 1 перевантажувальним пристроєм.*  
*Основні параметри ГАД – середня трудомісткість обробки однієї деталюстановки  $t_{об}=0.2(год.)$ ; час завантаження ГВМ  $t_3=6(хв)$ ; час розвантаження ГВМ  $t_p=4(хв)$ ; час на операцію взяти/поставити  $t_{вз/уст}=0.14(хв)$ ; середня довжина переміщення  $l_{cp}=30(м)$ ; Середня швидкість переміщення  $v_{cp}=60(м/хв)$ ;*
4. Зміст розрахунково-пояснювальної записки (перелік питань, що мають бути розроблені):  
*Розробка підсистеми оперативного обліку ГАД. Розробка підсистеми оперативного планування ГАД. Розробка підсистеми оперативно-диспетчерського управління ГАД. Розробка підсистеми імітаційного моделювання ГАД.*
5. Список графічного матеріалу:
  1. *Сіткова модель функціонування ГАД – формат А1*
  2. *Схеми алгоритмів програм – формат А1*
6. Дата видачі завдання: *05.02.2015.*

**Додаток 3. Форма КП-4 “Календарний план”**

(оборотна сторона листа форми КП-3)

## КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

№ п/п	Назва етапів курсового проекту (роботи)	Термін виконання етапів проекту (роботи)	Примітки
1	Отримання технічних умов на проектування підсистем ГАД	05.02.2015	
2	Визначення параметрів ГАД, як об'єкта управління	05.03.2015	
3	Постановка задач проектування СОУ ГАД та вибір методів їх дослідження	19.03.2015	
4	Розробка інформаційних структур даних підсистем ГАД	02.04.2015	
5	Складання розкладу роботи технологічного устаткування ГАД	16.04.2015	
6	Розробка алгоритму транспортного обслуговування ГВМ	30.04.2015	
7	Синтез та аналіз сіткової моделі функціонування устаткування ГАД	10.05.2015	
8	Розробка програмного забезпечення підсистем СОУ ГАД	20.05.2015	
9	Розробка пояснювальної записки та технічної документації до проекту	26.05.2015	
10	Здавання курсового проекту	03.06.2015	

Студент \_\_\_\_\_ прізвище, ім'я та по-батькові студента  
(підпис)

Керівник \_\_\_\_\_ Остапченко Костянтин Борисович  
(підпис)

«\_\_\_\_\_» \_\_\_\_\_ 2015 р.

## **Додаток 4. Форма КП-5 “Зміст”**

## Зміст

Перелік скорочень

Вступ

1. Аналіз задач проектування системи оперативного управління ГВС

1.1. Опис підрозділа ГВС як об'єкта управління

1.2. Постановка задач проектування СОУ ГВС

1.3. Аналіз та вибір методів дослідження

2. Проектування алгоритмічного забезпечення системи оперативного управління

2.1. Розробка інформаційних структур даних задач проектування

2.2. Складання розкладу роботи технологічного обладнання

2.3. Розробка алгоритма транспортного обслуговування ГВС

2.4. Синтез сіткової моделі функціонування обладнання ГВС

3. Розробка програмного забезпечення підсистем СОУ ГВС

3.1. Призначення і область застосування програмного забезпечення

3.2. Опис підсистеми вводу і обліку технологічних параметрів ГВС

3.3. Опис підсистеми оперативного планування

3.4. Опис підсистеми оперативно-диспетчерського управління

Висновки

Перелік посилань

					<b>ІК-21.14 0000.01 ПЗ</b>			
<b>Зм.</b>	<b>Арк.</b>	<b>№ докум.</b>	<b>Підп.</b>	<b>Дата</b>				
Розроб.					Розробка алгоритмічного та програмного забезпечення системи оперативного управління ГАД. Пояснювальна записка	<b>Літ.</b>	<b>Аркуш</b>	<b>Аркушів</b>
Перев.	Остапченко К.Б.						1	45
Н.контр								
Затв.								
						<b>НТУУ "КПІ"</b>		



**Додаток 5. Форма КП-6 “Відомість курсового проекту”**

№ ст.	Формат	Позначення	Найменування	К-ть ст.	№ екз.	Прим.
	A4	ІК-21.14 0000.01 ПЗ	Пояснювальна записка	46	1	
	A1	ІК-21.14 0000.02 СФ	Сіткова модель побудови розкладу роботи елементів ГАД. Схема функціональна.	1	1	
	A1	ІК-21.14 0000.03 СА	Алгоритм програмного продукту. Схема алгоритму	1	1	

					<b>ІК-21.14 0000.04 ВП</b>		
<i>Зм.</i>	<i>Арк.</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Підп.</i>	<i>Дата</i>			
<i>Розроб.</i>		<i>Остапченко К.Б.</i>			<i>Лім.</i>	<i>Аркуш</i>	<i>Аркушів</i>
<i>Перев.</i>						<i>1</i>	<i>1</i>
<i>Затв.</i>					<i>НТУУ “КПІ”</i>		
					Розробка алгоритмічного та програмного забезпечення системи оперативного управління ГАД. Відомість курсового проекту		

**Додаток 6. Форма “Контрольний лист захисту курсового проекту”**

Національний технічний університет України  
"Київський політехнічний інститут ім.І.Сікорського"  
Факультет інформатики та обчислювальної техніки

Кафедра Технічної Кібернетики

Спеціальність 126 Інформаційні системи та технології

ОПП Інформаційне забезпечення робототехнічних систем

Група ІК- Курс 3 Навчальний рік  /  Семестр 6

Кредитний модуль ГКС-4: Алгоритмізація та верифікація управління в ГКС

Дата  / /20  р.

**КОНТРОЛЬНИЙ ЛИСТ**  
захисту курсового проекту студентом

(прізвище, ім'я та по-батькові)

Показник	Кількість балів	Отримано балів
<i>Пояснювальна записка:</i>		
виконання календарного плану	10	
відповідність вимогам стандартів, якість оформлення	10	
повнота, чіткість, обґрунтованість, несуперечність викладення	10	
достовірність та самостійність	10	
<i>Захист отриманих результатів:</i>		
питання 1 (ступінь володіння матеріалом)	20	
питання 2 (ступінь обґрунтування прийнятих рішень)	20	
питання 3 (вміння захищати свою думку)	20	
<i>Загалом</i>	100	
	Оцінка	

Викладач

Остапченко К.Б.  
(прізвище, ініціали)