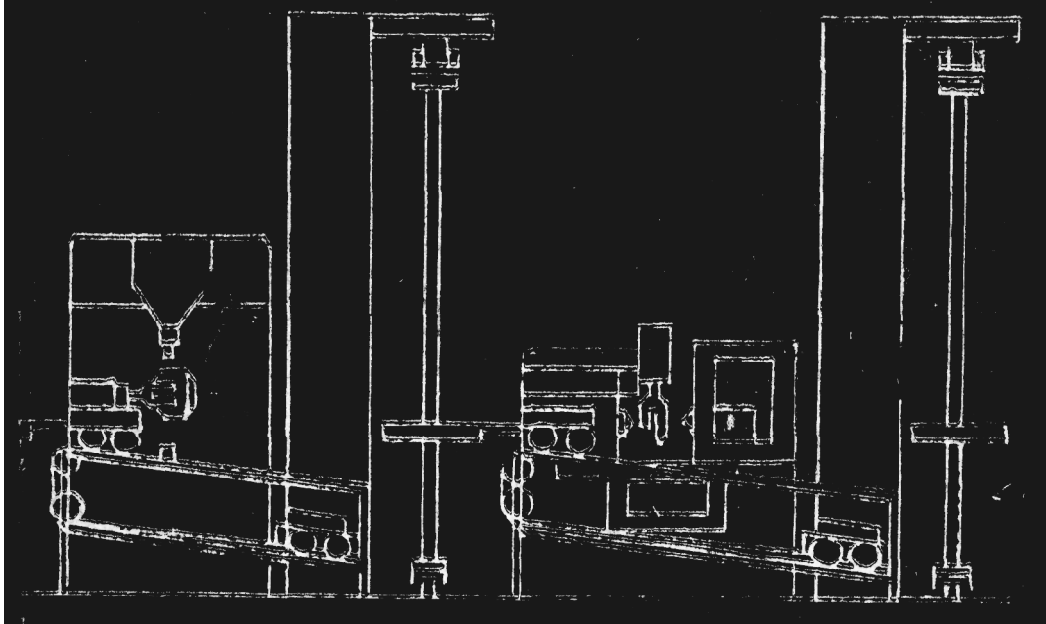


*Є. М. Гуліда, О. О. Яценко, В. В. Ступницький*

# ГНУЧКІ ВИРОБНИЧІ СИСТЕМИ ДЛЯ МЕХАНІЧНОЇ ОБРОБКИ



**Гибкие производственные системы для механической обработки / Гулида Э. Н., Ядченко А. А., Ступницький В. В. — Львов: Світ, 1992. — 152 с.**

ISBN 5-11-000839-6

В монографии рассмотрены основные положения и принципы построения ГПС, а также технологическое оборудование, автоматизированные транспортно-складские системы и системы управления ГПС. Выявлены функциональные связи конструктивных параметров изделия и технологических возможностей ГПС, приведена методология отработки конструкций изделий на технологичность и проектирование заготовок.

Нормативные материалы приведены по состоянию на 1 января 1992 г.

Для научных и инженерно-технических работников, занимающихся разработкой и созданием гибких производственных систем.

Ил. 34. Табл. 22. Библиогр. 60 назв.

**Гнучкі виробничі системи для механічної обробки / Гуліда Е. М., Ядченко О. О., Ступницький В. В. — Львів: Світ, 1992. — 152 с.**

ISBN 5-11-000839-6

У монографії розглянуто основні положення та принципи побудови ГВС, а також технологічне обладнання, автоматизовані транспортно-складські системи і системи управління ГВС. Виявлено функціональні зв'язки конструктивних параметрів виробу і технологічних можливостей ГВС, наведено методологією відпрацювання конструкцій виробів на технологічність та проектування заготовок.

Нормативні матеріали наведено за станом на 1 січня 1992 р.

Для наукових та інженерно-технічних працівників, що займаються розробкою і створенням гнучких виробничих систем.

Іл. 34. Табл. 22. Бібліогр. 60 назв.

Рецензент д-р техн. наук *Т. І. Рибак*  
(ГСКБ «Львівхімсільгоспмаш»)

Редакція науково-технічної літератури  
Редактор *Л. І. Сідлович*

2103000000-012  
Г М225(04)-92 28-91

© Гуліда Е. М., Ядченко О. О.,  
Ступницький В. В., 1992.

ISBN-5-11-000839-6

Сучасний етап розвитку машинобудування характеризується підвищенням економічних і науково-технічних вимог до виробництва. Скорочення термінів оновлення виробничої номенклатури, підвищення її складності, забезпечення високої стабільності головних параметрів машин та їх надійності призводить до значного збільшення витрат на виробництво і зростання собівартості готової продукції.

Реальним шляхом зменшення витрат на виробництво може бути тільки його широка автоматизація. Але специфіка сучасних завдань автоматизації виробництва визначається тим, що роль масового та багатосерійного виробництва в машинобудуванні зменшується за рахунок розподілу праці, росту подетальної і технологічної спеціалізації. Тому в умовах серійного, дрібносерійного та одиничного виробництв повинні бути розроблені такі технології, які б за продуктивністю відповідали багатосерійному або масовому виробництвам, а за гнучкістю і пристосованістю — одиничному або серійному виробництвам. Зближення можливостей виробництв цих типів відбувається на базі верстатів з ЧПУ, а також на основі широкого впровадження у виробництво електронних обчислювальних машин (ЕОМ), типової технології та технології групової обробки деталей, розробки систем адаптивного керування процесом виготовлення деталей на металорізючих верстатах.

Ефективність підвищується за рахунок застосування гнучких виробничих систем (ГВС), роботизованих технологічних комплексів (РТК), гнучких виробничих модулів (ГВМ). Згідно з ГОСТ 26228-85 ГВС — сукупність у різних сполученнях обладнання з ЧПУ, РТК, ГВМ, окремих одиниць технологічного обладнання та систем забезпечення їх функціонування в автоматичному режимі протягом заданого інтервалу часу, яка має властивості автоматизованої переналадки виробів довільної номенклатури у встановлених межах значень їх характеристик.

Головні елементи ГВС розробляють вже досить давно. Частина їх реалізація припадає на кінець 60-х — початок 70-х років. Однак тільки в листопаді 1978 р. у журналі «Айрон ейдт» надруковано перший звіт про роботу в цьому напрямі.

Після визнання заслуг італійської фірми «Комау», яка встановила на підприємстві фірми «Дженерал моторс» ГВС із трьох обробних центрів для виготовлення зубчастих коліс і осей автомобіля «Шевроле», а пізніше після розробок японських фірм стало зрозумілим, що ГВС набудуть поширення в цілому світі.

У 1978 р. в Японії прийнято програму ГМС (концепція гнучких виробництв), яка включала нові види технології (лазерну об-

робку, порошкову металургію), класичну технологію і автоматичний контроль. У здійсненні цієї програми беруть участь ведучі фірми «Фанук», «Хітачі», «Міцубісі», «Тошіба», «Ямадзакі» та ін.

У жовтні 1982 р. перша міжнародна конференція з ГВС у м. Брайтоні (Англія) визначила напрям на інтеграцію ГВС з системами автоматизованого проектування і автоматизованої технологічної підготовки виробництва в комплексні системи проектування виробництва (CAD/CAM).

На другій міжнародній конференції з ГВС, яка відбулася в жовтні 1983 р. в Лондоні, розроблена програма масового переходу промисловості до гнучкої технології на базі гнучкого автоматизованого виробництва.

У нашій країні цими питаннями займаються НВО «ЕНІМС», «УкрНДІСІП» та інші науково-дослідні організації, навчальні заклади, підприємства та об'єднання. Вже розроблені основні принципи єдиної технічної політики в галузі розробки ГВС, однак теорія проектування ГВС ще далека від завершення. Тому ми зробили спробу узагальнити досвід з технологічного проектування ГВС і накреслити головні етапи їх розробки та впровадження у виробництво. Наведені в книзі матеріали дадуть змогу інженерно-технічним працівникам машинобудівних підприємств, які займаються проблемами розробки ГВС, ширше ознайомитися з дослідженнями, розробками та впровадженням ГВС у виробництво.

## ОСНОВНІ ПОЛОЖЕННЯ ТА СТРУКТУРА ГНУЧКИХ ВИРОБНИЧИХ СИСТЕМ

### 1.1. Загальні відомості

Як відомо, ГВС повинні забезпечувати автоматизоване виробництво деталей різної номенклатури та здійснювати автоматизовану переналадку обладнання на випуск нової продукції. Упровадження таких систем має наблизити продуктивність ГВС і собівартість продукції до рівня виробництва деталей одного найменування в умовах масового виробництва.

За організаційною структурою гнучкі виробничі системи формуються у вигляді гнучких автоматизованих ліній (ГАЛ) та гнучких автоматизованих дільниць (ГАД), що можуть об'єднуватися в гнучкий автоматизований цех (ГАЦ).

ГАЛ, що є по суті ГВС із розміщеним технологічним обладнанням у прийнятій послідовності технологічних операцій, створюється, як правило, в умовах крупносерійного виробництва. Організаційна основа роботи ГАЛ — типовий технологічний процес. Обладнання встановлюють так, щоб забезпечити послідовну обробку уявної або реальної гіпотетично надлишкової деталі, яка охоплює елементи форм всієї номенклатури деталей. При цьому транспортування деталі або групи деталей здійснюється за схемою: автоматизований склад заготовок — ГВМ — ГВМ... ГВМ — автоматизований склад деталей.

ГАД — це ГВС, що працює за технологічним маршрутом, в якому передбачена можливість зміни послідовності використання технологічного обладнання. Для ГАД характерна така форма уніфікації технологічних процесів, як групова обробка, використання якої найбільш доцільне в умовах дрібно- і середньoserійного виробництва. Використання ГАД дасть змогу порушити прямоточність переміщення оброблюваних деталей у межах дільниці та повертати їх для послідовної обробки на верстати, на яких виконувалися попередні операції. Схема транспортного потоку деталей найбільш характерна для ГАД: (автоматизований склад) АС — ГВМ — АС — ГВМ — АС — ...

Найбільш характерними вихідними структурними одиницями ГВС є гнучкий виробничий модуль (ГВМ) і роботизований технологічний комплекс. Згідно з ГОСТ 26228-88, ГВМ — це одиниця технологічного обладнання для виробництва деталей довільної номенклатури у встановлених межах значень їх характеристик з

програмним управлінням, яка автономно функціонує і здійснює всі функції, пов'язані з їх виготовленням, а також може бути вмонтована в ГВС. ГВМ включає пристрої накопичення, орієнтації, поштучної видачі об'єктів виробництва, а також засоби активного контролю та діагностики роботи основних підсистем робіт модуля.

Одним із прикладів ГВМ може бути роботизований технологічний комплекс — сукупність одиниць технологічного обладнання, промислового робота і засобів оснащення, що автономно функціонує та здійснює багаторазові цикли. РТК, призначені для роботи в складі ГВС, повинні бути забезпечені автоматизованою переналадкою та мати можливість умонтовуватися в систему.

## 1.2. Організаційна та функціональна системи

Комплексне розв'язання задач гнучкої автоматизації передбачає комплектацію ГВС засобами забезпечення їх автономного функціонування. Згідно з ГОСТ 26228-85, така система включає в себе сукупність взаємозв'язаних автоматизованих систем, що забезпечують проектування виробів, технологічну підготовку їх виробництва, управління гнучкою виробничою системою за допомогою ЕОМ і автоматичне переміщення предметів виробництва та технологічного оснащення.

У загальному випадку до системи забезпечення функціонування ГВС входить дев'ять систем:

1. Автоматизована транспортно-складська система відіграє роль розподільника матеріального потоку деталей та заготовок. Автоматизований склад є як централізованим накопичувачем (для ГАЛ), так і децентралізованим міжопераційним накопичувачем (для ГАД). Система управління краном-штабелером автоматизованого складу повинна стикуватися програмно й інформаційно з системою управління транспортною системою, з автоматизованою системою управління гнучкими виробничими модулями (АСУ ГВМ).

Транспортування деталей зі складу до ГВМ здійснюється, як правило, за допомогою трансманіпуляторів, робочарів, конвеєрів тощо. За конфігурацією транспортні системи (ТС) бувають прямолінійні, криволінійні, циклічні (замкнуті).

За принципом роботи ТС можна розділити на односторонні (конвеєри) та зворотно-поступальні (трансманіпулятори, робочари).

Роль транспортної системи іноді може виконувати робот-штабелер. Компонівка такої ГВС вимагає розміщення основного технологічного обладнання — верстатів з ЧПУ — вздовж складу.

2. Автоматизована система інструментального забезпечення (АСІЗ) призначена здійснювати безперебійну комплектацію інструментальних магазинів ГВМ інструментом згідно з технологічними вимогами при зміні номенклатури деталей, або в разі ...

поломки, затуплення, виходу з ладу. Оскільки процес заміни інструментів для верстата з ЧПУ є досить точною і складною операцією, то часто змінюється весь магазин інструментів (наприклад, револьверна головка токарних верстатів з ЧПУ і т. п.) або інструмент в оправці. Комплектація таких модульних інструментальних блоків, як правило, здійснюється за межами ГВС на спеціальному обладнанні.

До складу АСІЗ входить підсистема діагностики стану різальних інструментів на випадок їх затуплення або поломки. Безперебійне функціонування такої підсистеми значною мірою впливає на надійність роботи ГВС в цілому, зменшення проценту браку в роботі.

3. Система автоматизованого контролю (САК) забезпечує процес аналізу формоутворення конфігурації деталі, параметрів точності та шорсткості.

Розрізняють такі види контролю: а) вхідний (контроль заготовок на складі); б) активний (контроль у процесі формоутворення деталі); в) міжопераційний (проводиться, як правило, на спеціальних автоматизованих контрольних пристроях, що входять до складу ГВС); г) заключний (контроль деталей на складі).

Система управління контрольними пристроями зв'язана через управляючу ЕОМ з системами АСУ, ГВМ, АСІЗ.

4. Автоматизована система видалення відходів (АСВВ) здійснює повний відвід стружки із зони обробки заготовок, а також ретельну очистку базових поверхонь пристроїв, напрямних верстата, установочних поверхонь деталей у касетах, плитах-супутниках тощо.

5. Автоматизована система управління технологічними процесами (АСУТП) призначена програмно керувати процесом функціонування складових ГВС. Система забезпечує оперативну зміну програм для верстатів з ЧПУ типу DNC при переході на виробництво іншої номенклатури деталей, через ЕОМ програмно та інформаційно зв'язана з системами АТСС, АСІЗ, САК, АСВВ. У зарубіжній літературі таку систему називають «Computer Aided Manufacturing» (САМ).

6. Автоматизована система наукових досліджень (АСНД) забезпечує оптимальне функціонування обладнання ГВС на основі аналізу матеріальних потоків, потоків резервування внаслідок заміни обладнання, що вийшло з ладу. Результатом такої роботи є науково обґрунтований оперативно-виробничий план, що дає змогу забезпечити під час обробки деталей заданої номенклатури найвищу продуктивність обладнання ГВС, зменшити частку несуміщеного допоміжного часу у структурі штучного.

7. Система автоматизованого проектування (САПР) дозволяє якісно й оперативно здійснювати процес проектування технологічних процесів (САПР—ТП), конструкцій пристосувань (САПР—К), управляючих програм для верстатів з ЧПУ (САП).

8. Автоматизована система технологічної підготовки виробництва АСПВ — це інформаційна база САПР. Призначена вона для

вибору оптимальної структури та параметрів технологічних процесів обробки деталей у заданих межах номенклатури і кількості. Система також здійснює вибір оптимального складу інструментів та затискних пристроїв ГВМ, що дає змогу зменшити час на переналадку модулів при переході на обробку іншої деталі. Сукупність систем САПР і АСТПВ у зарубіжній літературі називають «Computer Aided Design» (CAD).

9. Автоматизована система управління (АСУ) координує роботу всіх систем ГВС через центральну ЕОМ. Найбільш доцільною формою організації системи АСУ є розподільна обчислювальна мережа, що включає в себе локальні мікро- і мініпроцесорні системи, які керують відповідними системами (АТСС, САК, САПР, АСТПВ та ін.), та зв'язана з ними велика ЕОМ (типу СМ або ЕС), на яку покладені функції координування, аналізу, коректування та управління локальних систем. Передача здійснюється через канали (мережі) передачі даних (КАСУ). На системі АСУ також покладено функції обліку роботи ГВМ, розподілу роботи між ними.

### 1.3. Принцип побудови ГВС

Упровадження ГВС безпосередньо стосується проблеми розробки якісно нових методів проектування конструктивно-технологічних вирішень, що базується на принципах системного аналізу й синтезу, математичного моделювання та прогнозування виробничих процесів. Впровадження гнучких виробничих систем ставить завдання подальшого вдосконалення не тільки основного і технологічного обладнання, але й технологічної підготовки гнучкого автоматизованого виробництва. Згідно з [1—3, 6, 9, 12, 13, 15] при проектуванні ГВС слід враховувати такі фактори:

а) необхідність значних капіталовкладень внаслідок високої вартості компонентів ГВС. Це накладає особливу відповідальність при виборі технологічних і структурно-організаційних вирішень;

б) складність організації ГВС і, як наслідок, можливість не виправдано великих простоїв обладнання внаслідок допущених при проектуванні помилок;

в) багатоваріантність альтернативних вирішень організаційно-технологічної структури ГВС і пошук оптимального варіанта для конкретного замовника.

Аналіз відомих методів проектування ГВС механообробки [3—5, 8, 10, 14, 16, 17] показав, що, по-перше, ці задачі розв'язуються, як правило, без належного аналізу проектних вирішень, по-друге, відсутній системний взаємозв'язок і єдність у розв'язанні задач формування структур технологічних процесів, структурно-компоновочних рішень ГВС, по-третє, існуючі методики вибору конструктивно-технологічних параметрів ГВС дають змогу вирішувати часткові задачі виробничої практики. Внаслідок вказаних недоліків відомих методів проектування ГВС можна



зробити висновок про необхідність розробки принципово нового методу, який давав би змогу здійснити системний аналіз технологічних і структурно-компоновочних рішень ГВС. При цьому повинні бути встановлені і досліджені структурні і функціональні зв'язки ГВС на основі уніфікації альтернативних рішень на всіх етапах проектування.

Системний підхід до питань проектування повинен базуватися на реалізації таких принципів:

- 1) ієрархічність;
- 2) комплексна оптимізація;
- 3) взаємозв'язок уніфікованих конструктивно-технологічних рішень.

Принцип ієрархічності вимагає послідовного проектування ГВС на різних рівнях: сукупність технологічних операцій; уніфіковані технологічні маршрути обробки всієї номенклатури деталей; основне і допоміжне технологічне обладнання, що складає структуру ГВМ; структура і взаєморозміщення ГВМ, АТСС у складі ГВС. Принцип комплексної оптимізації полягає в тому, що рішення на кожному рівні приймаються на основі встановлення критеріїв оцінки альтернативних варіантів. Математичні оптимізаційні моделі відображають технологічну, конструкторську і економічну сторони питання. Принцип взаємозв'язку уніфікованих конструкторсько-технологічних вирішень вимагає поетапного їх проектування і відсіювання неконкурентноспроможних варіантів залежно від поставлених умов і обмежень задачі, а також наявність зворотного зв'язку, що дає змогу використовувати ітераційний метод.

Комплексне виконання поставлених завдань визначає необхідність розробки математичних моделей на структурному і параметричному рівнях. При цьому на структурному рівні проводиться синтез альтернативних варіантів, які потім аналізуються на параметричному рівні. Поєднання системного підходу і принципу багаторівневої оптимізації вимагає використовувати для досягнення поставленої мети методики багатокрокового процесу прийняття рішень (БППР). Це дасть змогу визначити на кожному етапі проектування технологічний маршрут, структурно-компоновочні рішення ГВМ і ГВС конкурентноспроможних варіантів з числа альтернативних за критерієм 2-го роду, а потім встановити оптимальний комплекс взаємосприйнятливих варіантів із числа конкурентноспроможних за критерієм 1-го роду. Критерії і обмеження 2-го роду повинні встановлювати оптимальне значення і межі допустимих значень параметра, що характеризує варіант розв'язання часткової задачі. Такими критеріями може служити досягнення гнучкою виробничою системою максимального рівня середньостатистичної продуктивності ( $\arg \max Q$ ) і мінімального простоїв основного технологічного обладнання за рахунок виконання допоміжних операцій ( $\arg \min k_c$ ) і за рахунок обслуговування ГВМ автоматизованою транспортно-складською системою ( $\arg \min k_m$ ). Критерій 1-го роду повинен відображати досягнення по-

«ставленої мети: визначення комплексу технологічних і структурно-компоновочних рішень ГВС, які задовольняють вимоги достатньої продуктивності при найменших економічних затратах. Тобто як критерій 1-го роду найбільш доцільно використати параметр приведених витрат.

Моделювання і автоматизацію проектування найбільш зручно проводити на основі уніфікації конструкторських і технологічних рішень [11, 17], що узагальнюють передовий вітчизняний та зарубіжний досвід. При цьому формування часткового розв'язання задачі буде здійснюватися за модульним принципом — у вигляді типізованої сукупності уніфікованих рішень. На рівні технологічного проектування такими рішеннями будуть: уніфіковані елементи форм деталей і відповідні їм уніфіковані технологічні переходи (за ГОСТ 3.1762-79); технологічні операції і уніфіковані маршрути обробки деталей. На рівні проектування структури і компоновки ГВС типовими рішеннями будуть уніфіковані структурно-компоновочні варіанти ГАЛ або ГАД, а також компоновки комплектуючих їх гнучких виробничих модулів і робототехнічних комплексів.

Уніфікація технологічних процесів у ГВС здійснюється на основі класифікації деталей за їх конструктивною і технологічною спільністю [1, 2, 17], в результаті чого формуються уніфіковані маршрути обробки. При цьому необхідно прагнути [5, 8, 10]:

- по-перше, до забезпечення максимальної ідентичності структур технологічних процесів обробки різних деталей класифікаційного ряду з метою скорочення часу на переналадку обладнання, зменшення затрат на оснащення та інструмент;

- по-друге, до забезпечення максимальної концентрації операцій на обладнанні ГВС, що створює об'єктивні передумови підвищення продуктивності праці, раціонального завантаження обладнання;

- по-третє, до комплексної автоматизації основних і допоміжних операцій, що реалізують «безлюдну» або «малолюдну» технологію.

Використання уніфікованих компоновочних рішень ГВМ, РТК і ГВС дасть змогу обмежити число варіантів структурних схем розміщення основного і допоміжного обладнання. Компоновочні схеми ГВС визначаються:

- кількісним і якісним складом основного і допоміжного обладнання;

- послідовністю виконання операцій у технологічних маршрутах обробки деталей класифікаційного ряду;

- способом передачі заготовок від децентралізованих накопичувачів у зворотному порядку;

- розміщенням транспортної системи, спряженням її з ГВМ;

- компоновочним рішенням складської системи і її спряженням з транспортною системою.

Дослідження будь-якої системи найбільш доцільно проводити

з допомогою розділення дєкомпозиції на підсистеми. Таке розділення виконують на основі функціонально-структурного аналізу і синтезу технологічної системи [13, 17]. Мета функціонального аналізу полягає в ієрархічному розподілі системи на елементи, а синтез дасть змогу отримати структуру системи, що відображає зв'язки між різними рівнями.

#### 1.4. Техніко-економічні показники ГВС

Вартість високопродуктивного обладнання ГВС (верстатів з ЧПУ, ГВМ, АТСС, промислових роботів) є досить значною, що зумовлює значне підвищення питомої ваги основних фондів. Ці обставини вимагають скоротити строки їх окупності і забезпечити ефективне їх використання.

Техніко-економічний та соціальний ефект впровадження ГВС полягає [6, 9]:

- у зниженні річних поточних витрат виробництва продукції, тобто у зниженні її собівартості;
- у поліпшенні використання основних і оборотних виробничих фондів і відносної економії капітальних вкладень;
- в отриманні додаткової економії за рахунок виробництва на обладнання ГВС продукції вищої якості;
- у скороченні строків задоволення потреб народного господарства у новій продукції з якісно вищими характеристиками;
- в економії затрат суспільства, що обумовлено абсолютним дефіцитом робочої сили.

Найбільш важливими показниками ГВС є строк окупності, річний економічний ефект, коефіцієнт підвищення продуктивності праці, коефіцієнт приросту вартості обробки на одного працюючого, фондівдача [8, 9, 16].

Строк окупності ГВС  $T_{ок}$  визначається за формулою

$$T_{ок} = \frac{K_2 - K_1}{C_2 \cdot N_2 - C_1 \cdot N_1},$$

де  $K_1, K_2$  — капіталовкладення до і після впровадження ГВС відповідно;

$C_1, C_2$  — технологічна собівартість одиниці продукції за змінними елементами витрат до і після впровадження ГВС відповідно;

$N_1, N_2$  — число одиниць продукції, випущеної за рік на неавтоматизованому обладнанні і ГВС відповідно.

Розміри капіталовкладень  $K_2$  визначаються як сума

$$K_2 = K_{обл} + K_{АТСС} + K_{інстр} + K_{осн} + K_{ЕОМ} + K_{ПР} + K_{НВ},$$

де  $K_{обл}$  — витрати на основне технологічне обладнання ГВС;  $K_{АТСС}$  — вартість автоматизованої транспортно-складської системи;  $K_{інстр}$  — витрати на систему інструментального забезпечення ГВМ;  $K_{осн}$  — витрати на технологічне оснащення ГВМ;  $K_{ЕОМ}$  — вартість управляючої системи ГВС (АСУ, ГВС), електронно-обчислювальної техніки тощо;  $K_{ПР}$  — вартість виробничих, допо-

міжних і побутових приміщень;  $K_{\text{НВ}}$  — оборотні фонди в незавершеному виробництві.

Технологічна собівартість  $C_2$  являє собою суму витрат приведеної до одиниці продукції:

$$C_2 = C_{\text{ЗП}} + C_{\text{нал}} + (A + P)_{\text{обл}} + (A + P)_{\text{АТСС}} + (A + P)_{\text{інстр}} + (A + P)_{\text{осн}} + (A + P)_{\text{ЕОМ}} + (A + P)_{\text{ПР}} + E + O_{\text{В}} + B_{\text{Б}},$$

де  $C_{\text{ЗП}}$  — заробітна плата виробничих та допоміжних робітників, ІТР та обслуговуючого персоналу;  $C_{\text{нал}}$  — витрати на налаштування обладнання;  $(A + P)$  — витрати на амортизацію та ремонт основного технологічного обладнання ( $A_{\text{обл}}, P_{\text{обл}}$ ); АТСС ( $A_{\text{АТСС}}, P_{\text{АТСС}}$ ); системи інструментального забезпечення ( $A_{\text{інст}}, P_{\text{інстр}}$ ); технологічного оснащення ( $A_{\text{осн}}, P_{\text{осн}}$ ); засобів автоматизованого управління ГВС ( $A_{\text{ЕОМ}}, P_{\text{ЕОМ}}$ ); виробничих та допоміжних приміщень ( $A_{\text{ПР}}, P_{\text{ПР}}$ ).

$E$  — витрати на електроенергію;  $O_{\text{В}}$  — витрати на освоєння виробництва;  $B_{\text{Б}}$  — витрати від браку.

Строк окупності ГВС не повинен перевищувати нормативний показник  $T_{\text{ок}}^{\text{н}}$ , що при нормативному коефіцієнті ефективності

$$E_{\text{н}} = 0,15 \text{ дорівнює } T_{\text{ок}}^{\text{н}} = \frac{1}{E_{\text{н}}} \approx 6,7 \text{ року.}$$

Річний економічний ефект від впровадження ГВС становить

$$E_{\text{рлічн}} = \sum_{i=1}^{I_1} (C_{1i} \cdot N_{1i}) - \sum_{i=1}^{I_2} (C_{2i} \cdot N_{2i}) - E_{\text{н}}(K_2 - K_1) + C_{\text{Е}} \cdot P_{\text{В}},$$

де  $I_1, I_2$  — загальна номенклатура деталей, що виробляється на обладнанні до і після впровадження ГВС, відповідно;

$N_{1i}, N_{2i}$  — число одиниць продукції  $i$ -го найменування до і після впровадження ГВС;  $C_{\text{Е}}$  — соціальний ефект на одного вивільненого робітника;  $P_{\text{В}}$  — загальна кількість вивільнених робітників.

Вивільнення виробничих робітників:

абсолютне, чол.:

$$P_{\text{В}_1} = \frac{\sum_{i=1}^{I_1} T_{1i} \cdot N_{1i} - \sum_{i=1}^{I_2} T_{2i} \cdot N_{2i}}{\Phi_{\text{р}}} = P_1 - P_2;$$

відносне, %:

$$P_{\text{В}_1}^{\%} = \frac{(P_1 - P_2) \cdot 100}{P_1},$$

де  $T_{1i}, T_{2i}$  — штучно-калькуляційний час виробництва  $i$ -ї деталі на неавтоматизованому обладнанні і ГВС відповідно;  $\Phi_{\text{р}}$  — річний фонд часу роботи одного працівника;  $P_1, P_2$  — кількість виробничих робітників до і після впровадження ГВС.

Підвищення продуктивності праці, %:

$$\Pi_{\Pi} = \frac{100 \cdot \sum_{i=1}^I \Delta T_i}{100 - \sum_{i=1}^I \Delta T_i},$$

де  $\Delta T_i$  — відносне зниження трудомісткості виготовлення  $i$ -ї деталі ( $i = \overline{1, I}$ ), %:

$$\Delta T_i = \frac{(T_{1i} - T_{2i}) \cdot 100}{T_{1i}}.$$

Ріст фондів віддачі обладнання при зростанні випуску продукції: абсолютний, крб.:

$$\Delta \Phi_{\text{відд}_a} = \Phi_{\text{відд}_2} - \Phi_{\text{відд}_1};$$

відносний, %:

$$\Delta \Phi_{\text{відд}_b} = \frac{\Delta \Phi_{\text{відд}_a}}{\Phi_{\text{відд}_1}},$$

де  $\Phi_{\text{відд}_1}$ ,  $\Phi_{\text{відд}_2}$  — фондів віддача до і після впровадження ГВС.

Технічна та організаційна ефективність впровадження ГВС визначається такими показниками: коефіцієнтом використання обладнання, коефіцієнтом змінності, коефіцієнтом завантаження обладнання, а також показниками надійності [14].

Коефіцієнт використання обладнання за машинним часом:

$$k_B = \frac{\sum_{i=1}^I \sum_{b=1}^{B_i} t_{\text{м}_i b}}{t_{\text{шк}_i b}},$$

де  $I$  ( $i = \overline{1, I}$ ) — загальна кількість деталей, що обробляється на обладнанні ГВС;  $B_i$  ( $b = \overline{1, B_i}$ ) — кількість технологічних операцій при обробці  $i$ -ї деталі.

Коефіцієнт змінності роботи обладнання:

$$k_3 = \frac{C_3}{K_0 \cdot Ч_p},$$

де  $C_3$  — кількість відпрацьованих верстатозмін за місяць;  $K_0$  — кількість верстатів у складі ГВС;  $Ч_p$  — число робочих днів у місяці.

Коефіцієнт завантаження обладнання:

$$k_{30} = \frac{K_{0_{\text{розрах}}}}{K_{0_{\text{факт}}}},$$

де  $K_{0_{\text{розрах}}}$ ,  $K_{0_{\text{факт}}}$  — розрахункове і дійсне число одиниць основного технологічного обладнання.

До показників надійності належать:  
а) наробка на відмову, год:

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

де  $J(j=1, \overline{J})$  — кількість верстатів однієї моделі, що входять до складу однієї ГВС;  $t_j$  — тривалість безперебійного функціонування  $j$ -го верстата за 1 год роботи;  $n$  — загальна кількість відмов усіх верстатів за 1 год роботи;

б) коефіцієнт готовності обладнання до роботи:

$$k_T = \frac{T_B}{T_B + T_P},$$

де  $T_P$  — середньостатистичний час усунення відмови, наприклад, відновлення роботоздатності верстата після відмови;

в) показник ремонтпридатності, год:

$$T_T = \frac{\sum_{j=1}^J T_P}{J}.$$

Таким чином, комплексна автоматизація виробництва, створення ГВС з широким використанням робототехнічних засобів відкривають перспективи для впровадження нових сучасних засобів ефективної організації виробництва.

1. Капустин Н. М., Васильев Г. Н. Автоматизация конструкторского и технологического проектирования / Под ред. Коренкова И. П. М., 1986.

2. Корсаков В. С., Капустин Н. М., Темпельгоф К.-Х., Лихтенберг Х. Автоматизация проектирования технологических процессов в машиностроении / Под общ. ред. Капустина Н. М. М., 1985.

3. Соломенцов Ю. М., Митрофанов В. Г., Прохоров А. Ф. и др. Автоматизированное проектирование и производство в машиностроении / Под общ. ред. Соломенцева Ю. М., Митрофанова В. Г. М., 1986.

4. Пуш В. Э., Пигерт Р., Сосонкин В. Л. Автоматические станочные системы / Под общ. ред. Пуша В. Э. М., 1982.

5. Бахтин Б. И., Гах В. Я. Система автоматизированного проектирования машиностроительных предприятий // Автоматизированное проектирование на ЭВМ. Л., 1985.

6. Васильев В. Н. Организация, управление и экономика гибкого интегрированного производства в машиностроении. М., 1986.

7. Дегтярев Ю. И. Методы оптимизации. М., 1980.

8. Ямпольский М. С., Калинин О. М., Ткач М. М. и др. Гибкие автоматизированные производственные системы / Под общ. ред. Ямпольского М. С. К., 1985.

9. Азбель В. О., Егоров В. А., Звонцкий А. Ю. Гибкое автоматизированное производство / Под общ. ред. Майорова С. А., Орловского Г. В., Халкионова С. Н. Л., 1985.

10. Горанский Г. К., Бендерова Э. И. Технологическое проектирование в комплексных автоматизированных системах подготовки производства. М., 1981.

11. Горюшкин В. И. Основы гибкого производства. Минск, 1984.
12. Дашенко А. И., Белоусов А. П. Проектирование автоматических линий. М., 1983.
13. Лищинский Л. Ю. Номенклатура показателей и принципы построения обобщенной модели гибких производственных систем // Станки и инструмент. 1985. № 10. С. 5—9.
14. Азбель В. О., Звоницкий А. Ю., Каминский В. Н. и др. Организационно-техническое проектирование ГПС / Под общ. ред. Митрофанова С. П. Л., 1986.
15. Пономаренко Л. А., Адамович Л. В., Тимофеев Б. Б. и др. Основы создания гибких автоматизированных производств / Под общ. ред. Тимофеева Б. Б. К., 1986.
16. Рапопорт Г. Н., Солин Ю. В. Применение промышленных роботов. М., 1985.
17. Цветков В. Д. Системно-структурное моделирование и автоматизация проектирования технологических процессов / Под ред. Ящерицына П. П. Минск, 1979.

## ТЕХНОЛОГІЧНЕ ОБЛАДНАННЯ, АВТОМАТИЗОВАНІ ТРАНСПОРТНО-СКЛАДСЬКІ СИСТЕМИ, СИСТЕМИ УПРАВЛІННЯ ГВС ТА ЇХ ФУНКЦІОНАЛЬНЕ ПРИЗНАЧЕННЯ

### 2.1. Технологічне обладнання ГВС механічної обробки

Технологічне обладнання, яке використовується для механічної обробки заготовок, визначає профіль ГВС. Однак склад обладнання ГВС головним чином зумовлюється конструктивно-технологічними особливостями оброблюваних заготовок, які, незважаючи на їх різноманітність, можна умовно поділити на три типи: вали, диски і корпусні заготовки. Крім того, кожний тип заготовок у процесі перетворення в готову деталь потребує застосування різних засобів обробки для одержання елементарної поверхні необхідних розмірів, точності і шорсткості.

Аналіз конструктивно-технологічних особливостей оброблюваних заготовок і технологічних можливостей обладнання ГВС, яке працює в автоматичному режимі, показує, що в більшості випадків на ГВС неможливо отримати деталь у готовому вигляді. Тому дуже часто, крім обробки на ГВС, виконується доповнююча кінцева доробка деяких елементарних поверхонь деталей з метою завершення технологічного процесу виготовлення деталі. Однак необхідно йти при розробці ГВС і особливо при виборі обладнання до забезпечення повної механічної обробки заготовки з метою отримання деталі в готовому вигляді.

Для все більш обґрунтованого використання технологічного обладнання ГВС і розгляду його службового призначення проаналізуємо конструктивно-технологічні характеристики основних типів деталей, оброблюваних на ГВС.

До деталей типу валів В належать вали, осі, штоки, шпінделі, циліндричні стержні, колонки направляючі і т. п. Довжина цих деталей вздовж осі обертання повинна бути більшою двох діаметрів  $L > 2D$ , де  $D$  — найбільший діаметр деталі типу В.

Деталлями типу дисків Д є диски, втулки, фланці, кришки, кільця, шестерні, шківні та ін. Для цих деталей характерне співвідношення геометричних розмірів  $L \leq 2D$ .

До деталей типу корпусів К відносять корпусні деталі коробчатої форми зі співвідношенням геометричних розмірів  $L \geq B \leq H$  (де  $L$  — довжина,  $B$  — ширина,  $H$  — висота), корпуси редукторів, опори, рами, кришки та інші, а також плоскі деталі  $L > B > H$ , до яких відносять плити, планки, зубчасті рейки, важелі, шатуни, куліси та ін.



Конструктивно-технологічні характеристики розглянутих типів деталей наведені в табл. 2.1. Для кожної групи деталей можна рекомендувати відповідні моделі верстатів, на яких можна обробити головну частину деталі. Наприклад, для груп 1В—4В рекомендують токарні центрові і патронні верстати. Крім того, можна також використовувати в ГВС фрезерно-центрувальні, фрезерні, кругло-шліфувальні та ін. Ці типи верстатів доповнюють верстатами токарної групи; вони повинні забезпечити послідов-

Таблиця 2.1

**Конструктивно-технологічні характеристики деталей типу валів В, дисків Д і корпусів К, оброблюваних на ГВС [4]**

Група деталей	Найбільші параметри деталей				
	D, мм	L, мм	B, мм	H, мм	Маса, кг
1В	20	250	—	—	2
2В	50	500	—	—	10
3В	80	1000	—	—	40
4В	160	1400	—	—	160
1Д	160	100	—	—	10
2Д	250	200	—	—	40
3Д	320	250	—	—	80
4Д	400	320	—	—	160
1К	—	300	300	150	200
2К	—	500	500	250	500
3К	—	800	800	400	3000

ність виконання технологічних операцій, а також відповідати вимогам ГВС по засобах автоматизації.

Розглянемо типові роботизовані комплекси обладнання—робот, які використовують для ГВС, та їх головні показники [2].

Для токарної обробки заготовок груп 1В та 1Д застосовують комплекс на базі промислового робота (ПР) «Циклон-3Б» і верстата мод. 1А730Ц (спеціальне виконання). Аналогічне призначення має комплекс НТ30КР, який складається з ПР мод. 20ГП-3 і токарного багаторізецевого верстата мод. ІН713 спеціального виконання. Цей комплекс може обробляти заготовки масою до 10 кг. Завантаження верстата і розвантаження заготовок виконується ПР з використанням касет.

Комплекс на базі промислового робота М10П62.01 і верстата мод.16К20Ф3 пристосований для токарної обробки заготовок груп 1В, 2В і 1Д. ПР завантажує верстат заготовками з тактового стола, а після обробки повертає їх на тактовий стіл. Цей же верстат може бути укомплектований ПР мод. М20П40.01, який забезпечує завантаження верстата заготовками масою до 20 кг.

Для токарної обробки заготовок групи 2Д може бути використаний комплекс мод. МРК40-202, оснащений ПР мод. М40П.05.01. Токарну обробку заготовок здійснюють на двошпіндельному верстаті мод. МР-315.

Токарну обробку заготовок груп 1В—3В можна виконувати на комплексі з використання ПР підлогового типу мод. СМ40Ц.40.11

і верстата мод. 1713. Завантаження верстата заготовками здійснюється із касети, у яку також вкладають оброблювану деталь. Для обробки таких самих груп деталей використовують комплекс на базі ПР СМ40Ф2.80.01 портального типу і токарний верстат мод 1713Ф3 з ЧПУ. Цей комплекс має систему світлозахисту.

Обробку заготовок груп 1В—4В можна проводити з використанням комплексів мод.АСВР-01 і АСВР-05, які складаються з ПР УМ160Ф2.82.01 портального типу, фрезерно-центрувальних верстатів мод. МР-179 і МР-73С, а також токарного верстата мод. 1Б132Ф3 з ЧПУ. Комплекси можуть також мати токарні верстати мод. 1740Ф3 і 1Б732.

Для виконання шліфувальних операцій при обробці заготовок типу валів використовують комплекси АСВР-06 для груп 1В—3В і АСВР-07 для груп 1В—4В. У комплекс АСВР-06 входять ПР мод. С40Ф2.80.01 портального типу і шліфувальний верстат мод. 3М151Ф2 з ЧПУ, а в комплекс АСВР-07 — ПР мод. УМ160Ф2.81-01 портального типу, центродоводочний верстат мод. МА3926 і шліфувальний верстат мод. 3М163Ф2 з ЧПУ. Комплекси обладнані системою світлозахисту.

При обробці корпусних заготовок використовують багатоопераційні верстати з ЧПУ. Це головним чином верстати фрезерно-свердлильно-розточної групи. Найбільше застосування для обробки заготовок групи 1К отримали верстати мод. ІР320ПМФ4, 2204ВМФ4, 2254ВМФ4 і 6904ВМФ2; для групи 2К — мод. ІР500МФ4, 6902ВМФ2 і 6306ПМФ4; для групи 3К — мод. ІР800МФ4 і 2623ПМФ4.

Дуже важливим моментом при розробці ГВС є підготовка технологічних баз на оброблюваних заготовках. Доцільність включення в склад ГВС обладнання для підготовки таких баз повинна бути економічно і технічно обґрунтована. При цьому необхідно врахувати те, що будь-яке обладнання, яке входить до складу ГВС, повинно бути повністю автоматизоване не тільки для виконання операцій механічної обробки, але й для завантаження і розвантаження заготовок. У випадках малого завантаження цього обладнання доцільніше ці операції виконувати поза межами ГВС. Тому при виборі обладнання для ГВС необхідно врахувати перелічені нижче основні вимоги до нього. Обладнання для ГВС повинно:

- 1) забезпечити обробку заготовок в автоматичному режимі;
- 2) забезпечити обробку заготовок великої номенклатури;
- 3) забезпечити автоматичний контроль якості оброблюваних заготовок і управління цією якістю;
- 4) забезпечити контроль за станом ріжучого інструменту і заміну зношеного або зламаного;
- 5) забезпечити збирання і видалення стружки та інших відходів за межі обладнання;
- 6) забезпечити автоматичний контроль наявності і кількості розходу змащувально-охолоджуючих рідин;

7) забезпечити швидку діагностику неполадок технологічного обладнання;

8) забезпечити зв'язок технологічного обладнання з верхнім рівнем управління.

Виходячи з цих положень, розглянемо питання вибору якісного і кількісного складу технологічного обладнання ГВС.

Вихідною інформацією для вибору складу технологічного обладнання є класифікаційний ряд оброблюваних деталей і технологічний маршрут їх обробки. Гнучкість номенклатури деталей, тобто можливість розширення номенклатури деталей при встановлених межах значень їх характеристик, можна представити ентропією Шеннона [3]. Кожна деталь відрізняється від іншої за значенням  $z$ -ї характеристики. Тому ентропія — це міра невизначеної інформації про дійсну структуру деталі, яка надходить на обробку і визначається за формулою

$$H = \sum_{z=1}^Z P_z \lg_2 P_z,$$

де  $Z(z=\bar{1}\bar{Z})$  — число характеристик точнісних і розмірних оброблюваних деталей;  $P_z$  — ймовірність появи  $z$ -ї характеристики у деталі, яка підлягає обробці.

Для всієї номенклатури деталей ентропією розраховують по групах з  $z$ -ю характеристикою і з подальшим підсумовуванням [3].

Відомо, що верстати з ЧПУ випускають чотирьох класів точності — Н, П, В, А. Розрахунки показали: якщо  $H \leq 2,5$ , то слід приймати верстати одного класу точності; якщо  $2,5 < H \leq 5,7$  — двох класів точності; якщо  $5,7 < H \leq 7,6$  — трьох класів точності; якщо  $H > 7,6$ , то вибирають верстати чотирьох класів точності.

Кількість верстатів кожного класу визначають у процентному співвідношенні від необхідної точності окремих груп деталей всієї номенклатури.

Заральну кількість верстатів для ГВС визначають залежно від річної програми випуску деталей і часу обробки на кожній технологічній операції. Але передбачити всю номенклатуру деталей, що виготовляються на ГВС, і встановити час їх обробки практично неможливо, особливо в умовах одиничного і дрібно-серійного виробництва. Тому вибирають виріб-представник, тобто деталь, для якої відома програма випуску, маса, а також кількість оброблюваних поверхонь. Цей виріб-представник повинен бути найбільш складним для всієї групи деталей, які передбачено обробляти на ГВС.

Для визначення виробничої програми необхідно всі інші вироби привести до виробу-представника. Отримана таким чином виробнича програма буде приведеною. Переваги такого підходу для визначення приведеної програми полягають у тому, що відповідає потреба розробляти технологічні процеси на всю номенклатуру виробів, а технологічні процеси розробляються лише на виріб-представник. Крім того, спрощується визначення трудоміст-

кості обробки і необхідної загальної кількості верстатів по операціях.

Для визначення приведеної програми необхідно для кожного відомого виробу знайти загальний коефіцієнт приведення

$$k_n = k_m \cdot k_c \cdot k_{ck},$$

де  $k_m$ ,  $k_c$ ,  $k_{ck}$  — коефіцієнти приведення за масою, серійністю і складністю. Ці коефіцієнти визначаються за такими залежностями:

$$k_m = \sqrt[3]{\left(\frac{m_1}{m}\right)^3}$$

$$k_c = \left(\frac{N_1}{N}\right)^{0,15};$$

$$k_{ck} = \sqrt{\frac{H_1}{H}},$$

де  $m$  — маса виробу-представника;  $m_1$  — маса виробу, який приводиться до виробу-представника;  $N$  — річна програма випуску виробу-представника;  $N_1$  — річна програма виробу, який приводиться;  $H$  — кількість оброблюваних поверхонь на виробі-представнику;  $H_1$  — кількість оброблюваних поверхонь на виробі, який приводиться.

Для визначення приведеної програми необхідно програму по кожному виробу перемножити на загальний для цього виробу коефіцієнт приведення і всі результати додати.

$$N_{np} = \sum_{i=1}^n N_i \cdot k_{ni},$$

де  $n$  — кількість назв виробів, які підлягають обробці на ГВС.

Після цього розробляють технологічний процес обробки виробу-представника, встановлюють режими різання, розраховують потужність, вибирають модель верстата, узгоджують режими різання по верстату і визначають час обробки  $T$  на кожній операції.

Розрахункову кількість обладнання для кожної операції визначають так:

$$S_p = \frac{T \cdot N_p}{60 \Phi_d},$$

де  $\Phi_d$  — дійсний річний фонд часу роботи обладнання, год; при однозмінному режимі роботи 2030 год; при двозмінному — 4015 год; при тризмінному — 5960 год.

Розраховану кількість обладнання округляють у більшу сторону до цілого числа  $S_p$  і визначають коефіцієнт завантаження обладнання  $\eta = S_p / S_n$ .

Якщо  $\eta < 0,75$ , то необхідно або збільшити програму випуску виробів чи номенклатуру виробів, або переглянути технологічний процес у бік концентрації технологічних операцій.

## 2.2. Автоматизовані транспортно-накопичувальні та складські системи ГВС

Одними з головних складових частин ГВС є автоматизовані (або автоматичні) транспортні, накопичувальні та складські системи. Розглянемо службове призначення кожної з цих систем.

Транспортна система призначена для навантаження, розвантаження і переміщення предметів праці та технологічного оснащення між технологічним обладнанням (робочими місцями) і складом ГВС.

Накопичувальна система виконує функції буферних пристроїв, які згладжують порушення ритму роботи технологічного обладнання. Представниками такої системи є приверстатні накопичувачі для заготовок, тари, інструменту, оснащення та відходів при роботі обробляючого модуля в оптимальному режимі.

Автоматизована складська система призначена для прийому, зберігання нормативного запасу, видачі у виробництво і обліку заготовок, порожньої тари, пристосувань, змінних захватів і запасних частин для верстатів і роботів, нагромадження і тимчасового зберігання готових виробів, відходів виробництва, бракованих з метою забезпечення ефективного виробничого процесу ГВС.

Вибір транспортної системи залежить від організаційно-технічних вимог до транспортних зв'язків і транспортних потоків, які поділяють на безперервні і дискретні. Кожен із цих потоків може бути відгалуженим, прямоточним, зворотним або мати ті чи інші ознаки.

У реальних умовах можливе комбіноване використання безперервного та періодичного переміщень за умови розриву транспортних споруд буферними накопичувачами. Транспортні системи залежно від розміщення обладнання на дільниці ГВС можуть бути або невідгалуженими зі зворотним потоком періодичного переміщення, або з замкнутою трасою транспортної системи, або з відгалуженою трасою при багаторядному розміщенні обладнання та ін.

У процесі розробки схеми грузопотоків з урахуванням компоновки технологічного обладнання і накопичувальних систем вирішуються такі головні завдання: зменшення загальної довжини транспортних систем і кожного відгалуження, зменшення числа перетинів і відгалужень, забезпечення вимог техніки безпеки праці і пожежної безпеки, зменшення капітальних та експлуатаційних витрат, ремонтпридатність. На рис. 2.1 зображені головні схеми транспортних систем ГВС.

Розглянемо технічні засоби транспортних систем ГВС, до яких належать транспортні та перевантажуючі роботи, конвейери і монорейкові дороги.

Важливу роль у створенні автоматичних транспортних систем відіграють транспортні роботи. Вони поділяються на два підкласи: підлогові та підвісні. Підлогові транспортні роботи виготовляють

як рейкові, так і безрейкові. Підвісні транспортні роботи бувають монорейковими, консольно-крановими і порталними.

Найбільше поширення у світовій практиці отримали підлогові безрейкові автоматичні візки, які можуть бути вантажонесучими і тягнучими. У нашій країні знайшли застосування такі безрейкові автоматичні візки, як «Електроніка» (вантажопідйомність 500 кг, швидкість переміщення 0,5 м/с, точність позиціювання

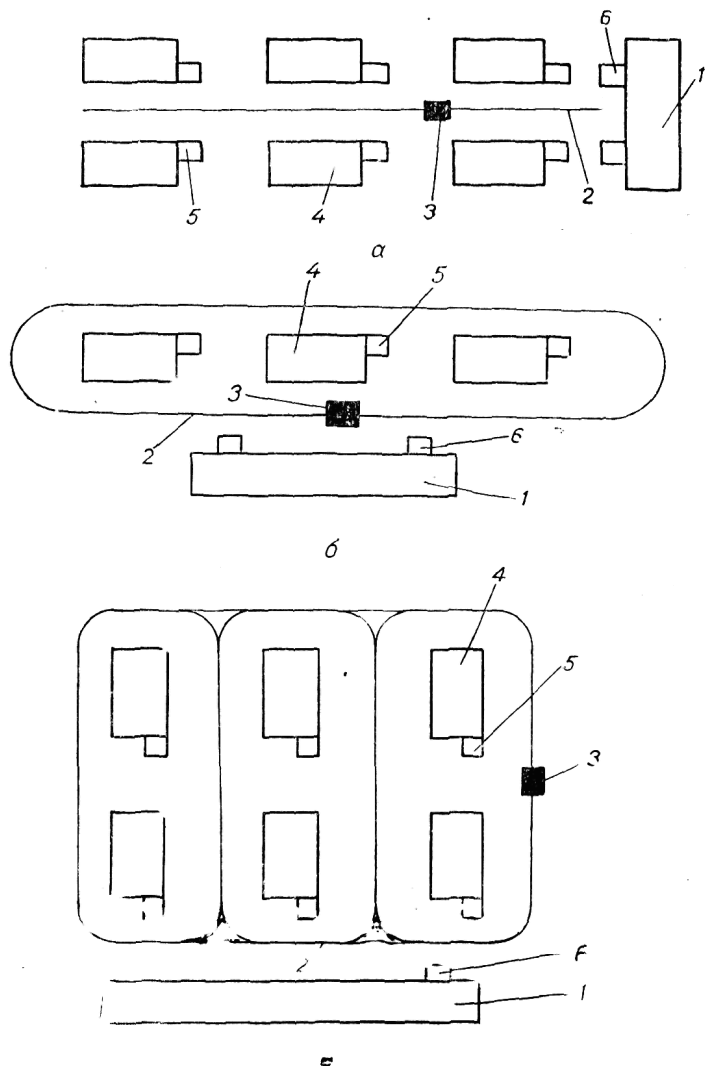


Рис. 2.1. Схеми транспортних систем ГВС з прямою (а), замкненою (б) і відгалуженою (в) трасами:

1 — склад; 2 — траса транспортної системи; 3 — транспортний робот; 4 — технологічне обладнання; 5 — приверстатний накопичувач; 6 — перевантажувальний стіл.

$\pm 10$  мм), МП-12Т (вантажопідйомність 200 кг, швидкість переміщення 0,5 м/с, точність позиціонування  $\pm 10$  мм) з промисловим роботом, який має вантажопідйомність 20 кг і 6 ступенів рухомості, візок ІАЕ ім. І. В. Курчатова з промисловим роботом (маса заготовки до 10 кг, швидкість переміщення 2 м/с, точність зупинки 1 мм) [5].

У львівському проектно-конструкторському інституті конвейєробудування ВО «Конвейєр» розроблена конструкція транспортного робота у вигляді візка підлогового монорейкового [6]. Робоча площина може знаходитися над рівнем підлоги на висоті від 650 до 1250 мм. Для розвантаження використовують ланцюгову передачу. Траса переміщення транспортного робота лінійна, з радіусом повороту 1500 мм. Швидкість переміщення на лінійній ділянці траси 2 м/с, а на повороті — 0,35 м/с.

Точність позиціонування при поздовжньому переміщенні  $\pm 2,5$  мм, а при вертикальному  $\pm 1,5$  мм. Переміщення вантажів здійснюється у спеціальній тарі (касети, пакети і т. п.).

Для переміщення вантажів у ГВС також використовують конвейєри. Надійність транспортних зв'язків у ГВС знайшли стрічкові та пластинчасті конвейєри і привідні рольганги. Вони прості у виготовленні, дешеві і можуть бути впроваджені на базі конвейєрів, що серійно виготовляються у нашій країні.

Крім конвейєрів, для ГВС застосовують монорейкові дороги, які мають порівняно з конвейєрними системами такі переваги: використання більш простих пристроїв для відгалуження монорейкових шляхів і можливість спорудження траси у будь-якому місці, малá кількість рухомих елементів, зручність обслуговування, більш високий діапазон швидкостей, безшумність руху візків, можливість руху візків однієї монорейкової системи з різними швидкостями та ін. Але разом з цим монорейкові дороги мають і ряд недоліків: технічно складно при необхідності змінити довжину і напрямок траси, перейти на більшу вантажопідйомність, досягти високої точності позиціонування. При проектуванні конвейєрних систем необхідно враховувати загальні вимоги безпеки, встановлені ГОСТ 12.2022—80.

За складністю схеми монорейкові дороги поділяються на елементарні (без відгалужень), прості (3—5 стрілочних переводів) і складні з більшою кількістю стрілочних переводів, поворотних кругів і міжповерхових підйомників. Кожна схема використовується залежно від конструктивних особливостей ГВС.

Невід'ємною частиною транспортної системи є накопичувачі. Накопичувальний пристрій-елемент ГВМ (РТК) здійснює зв'язок ГВМ (РТК) з транспортно-складською системою ГВС по потоку заготовок (деталей). Відомі два способи завантаження накопичувачів: поштучний і касетний.

Перший спосіб полягає у тому, що накопичувач завантажують поштучно. Другий спосіб потребує попереднього завантаження заготовок у тару (касету), яка за допомогою транспорту встановлюється на накопичувач.

До накопичувачів з поштучним завантаженням відносять тактові столи, дискові магазини і грейферні столи.

Тактові столи (рис. 2.2) призначені для подачі заготовок у зону дії промислового робота, які встановлені на пластинах, що тактово рухаються. Пластини приводяться в рух горизонтально-замкненим ланцюгом конвейера. Кількість пластин визначає об'єм накопичення. Конструкція стола забезпечує розділення зон завантаження накопичувача і зони дії схватів робота.

Магазини дискові мають те ж призначення, що і столи тактові. Переміщення заготовок здійснюється за рахунок тактового обертання стола навколо вертикальної осі. Конструкція відрізняється компактністю і простотою за рахунок використання обертального руху робочого органа. Компактність магазину визначає недостатній розподіл зони завантаження накопичувача і зони дії робота.

Грейферні столи-накопичувачі головним чином використовують разом з РТК. Вони подають заготовку в зону дії схватів робота і відводять деталь у зону розвантаження. На станині змонтована система пильчастих лінійок (рухомих і нерухомих). Зовнішні нерухомі лінійки необхідні для накопичування заготовок, а внутрішні — для тактової перекладки заготовок у нерухомих лінійках. Робоча позиція на нерухомих лінійках розміщена від двох сусідніх позицій накопичення на довжині збільшеного кроку, що забезпечує вільний доступ розкритих схватів у зону робочої позиції. Таке відокремлення однієї заготовки від ряду інших, які лежать на дуже малій відстані одна від одної, забезпечує вільний вхід розкритих схватів робота в зону робочої позиції.

Доцільним розвитком таких накопичувачів є створення можливості їх касетного завантаження. Представником такої конструкції є накопичувач, розроблений у львівському проектно-конструкторському інституті конвейєробудування виробничого об'єднання «Конвейер» [6].

Габаритні розміри (довжина×ширина×висота) —  $880 \times 650 \times 1200$ , вантажопідйомність 50 кг, висота площадки прийому вантажу  $650 \pm 1,5$  мм, висота позиціонування 650 і 1250 мм, точність позиціонування  $\pm 1,0$  мм, переміщення вантажу в поздовжньому напрямку за рахунок ланцюгового приводу.

На накопичувач встановлюють штабель касет, одна з яких подається у робочу зону робота. Після закінчення обробки заготовок однієї касети на неї встановлюється друга і т. д. Кількість касет у штабелі залежить від висоти обслуговування схватів робота.

В Українському науково-дослідному інституті верстатів та інструментів розроблена гама касетних накопичувачів КТР-3.10 (рис. 2.3), КРТ-4.10 і КРТ-5.10, побудованих за агрегатно-модульним принципом. Вони призначені для завантаження верстатів з ЧПУ, оснащених промисловими роботами різних моделей [7].

Накопичувач КРТ-3.10 працює спільно з роботом «Електроніка НЦТМ-01» і обслуговує верстат мод. КТ-141П. Накопичувач



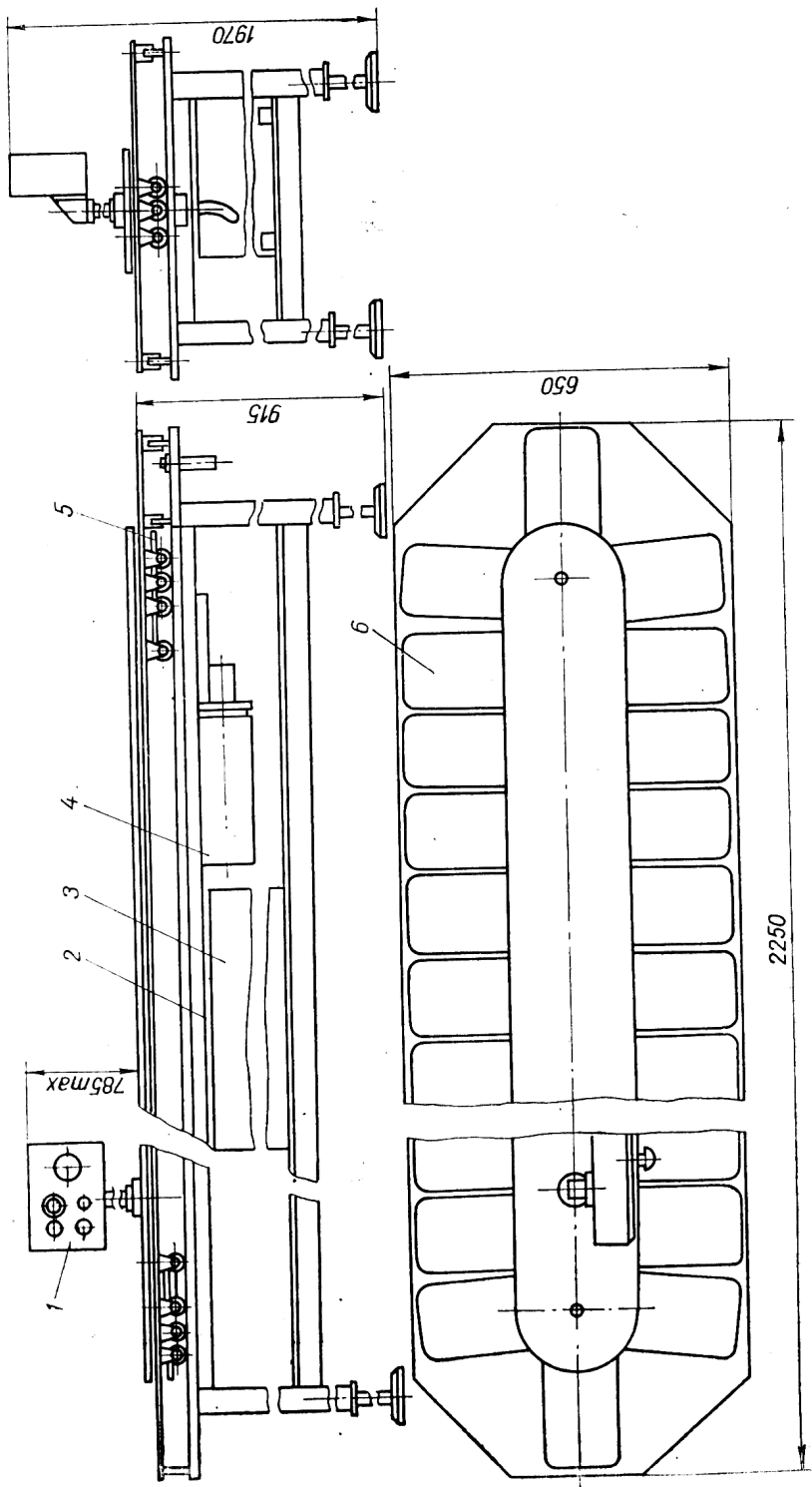


Рис. 2.2. Стіл тактовий СТ-150:

1 — пульт управління; 2 — стіл; 3 — пристрій управління; 4 — привод столу; 5 — виключачний механізм; 6 — палета.

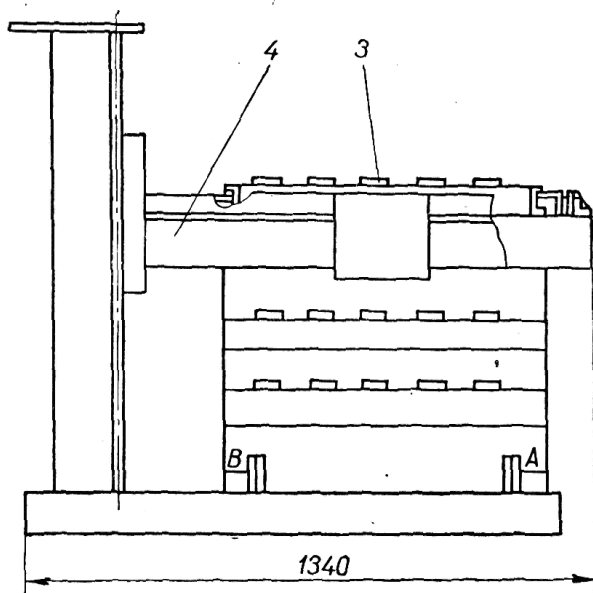
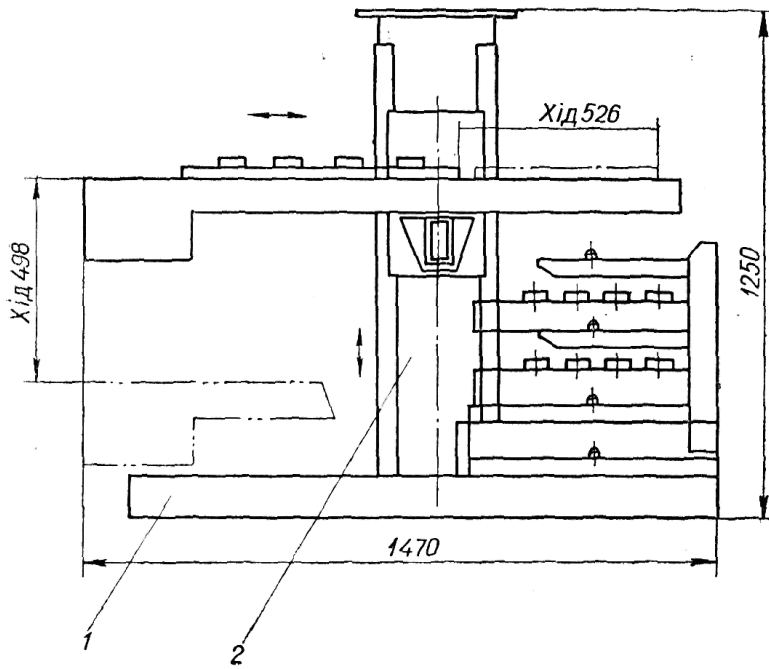


Рис. 2.3. Накопичувач КРТ-3.10:

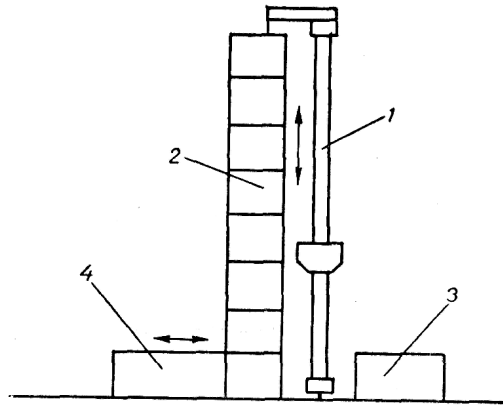
1 — основа; 2 — привод вертикального перемещения; 3 — кассета;  
4 — стій тактовий.

КРТ-4.10 з роботом СМ 80Ц48.15, а КРТ-10 — з роботом М10П.

Дуже важливу організаційну роль у ГВС відіграють автоматичні склади. У конструктивному відношенні склад містить такі головні елементи: стелажні конструкції, автоматичні штабелюючі машини, транспортно-складська тара, пристрої для комплектування транспортно-складської тари і завантаження складу всім необхідним, пристрої для перевантаження тари з перевантажуваль-

Рис. 2.4. Типова схема поперечного перерізу складів ГВС з автоматичним стелажним краном—штабелером:

1 — кран—штабелер; 2 — стелаж; 3 — пристрій для комплектування тари; 4 — перевантажувальний стіл.



ного стола на транспортну систему ГВМ або в зворотному напрямку.

Залежно від конструктивних особливостей і технічного оснащення можна виділити такі головні типи автоматичних складів у ГВС: 1) з клітковими стелажми і автоматичним стелажним краном-штабелером; 2) з клітковими стелажми і автоматичним мостовим краном-штабелером; 3) з гравітаційними стелажми і автоматичними стелажними кранами-штабелерами (каретками операторами); 4) з автоматичними елеваторними стелажми; 5) автоматичний підвісний склад з підвісним штовхаючим конвейером, який має можливість автоматично адресувати вантаж.

Схеми головних типів стелажних складів ГВС зображені на рис. 2.4—2.6. Найбільше поширення в ГВС отримали склади з автоматичними стелажними кранами-штабелерами, оскільки вони займають мало місця і мають високу продуктивність. Недоліком таких складів є те, що вантажомісткість однієї секції невелика, особливо при невеликій висоті приміщення.

При великій номенклатурі виробів, які обробляються на ГВС в умовах одиничного або дрібносерійного виробництва, доцільніше використовувати стелажні склади з автоматичними мостовими кранами-штабелерами.

Гравітаційні стелажні склади використовують при невеликій номенклатурі виробів і дуже великих їх запасах.

Елеваторні стелажні склади застосовують при виготовленні на ГВС виробів невеликих розмірів і незначних запасах їх зберігання.

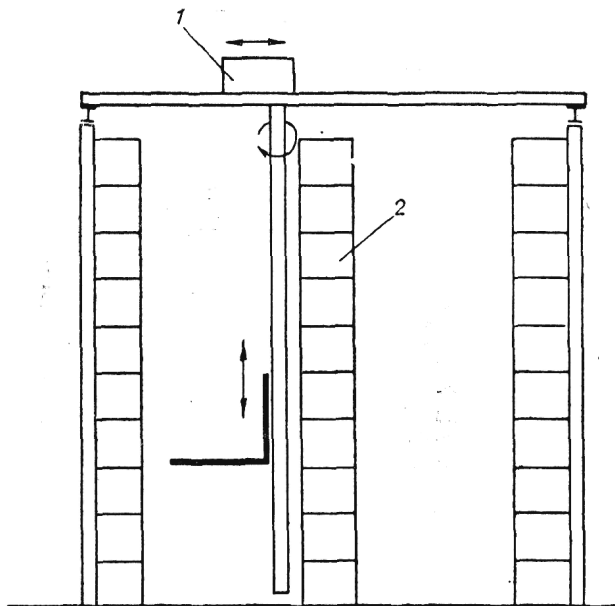


Рис. 2.5. Типова схема поперечного перерізу складу з автоматичним мостовим краном—штабелером:  
 1 — мостовий кран-штабелер; 2 — стелаж.

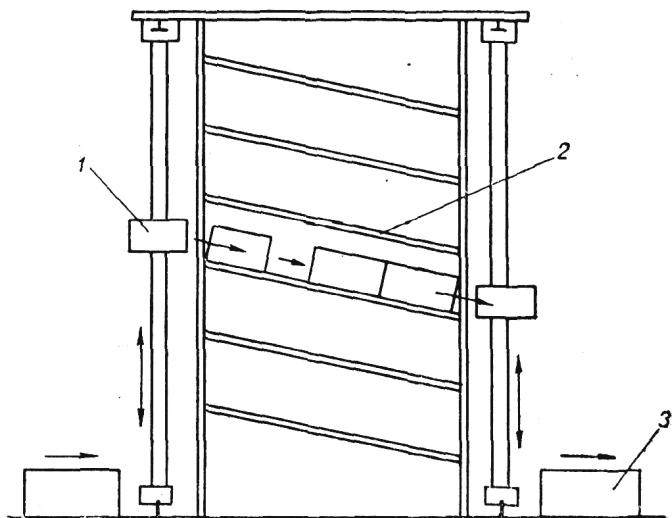


Рис. 2.6. Автоматизований склад ГВС з гравітаційними стелажми:  
 1 — автоматичні каретки—оператори; 2 — гравітаційні стелажі;  
 3 — перевантажувальні пристрої.

Місткість стелажного складу з комірками визначають за формулою [8]

$$N_k = \frac{m_j k_{1j} k_0}{k_4 \Phi_n} [T_{\text{поч}} + T_{\text{сд}}(n-1)] k_3,$$

де  $N_k$  — кількість комірок складу, шт;  $m_j$  — розмір партії запуску заготовок деталей  $j$ -ї назви, шт;  $k_{1j}$  — місткість транспортної тари (середня кількість заготовок  $j$ -го типу, яка вміщується в тару, шт);  $k_2$  — число партій заготовок, які знаходяться одночасно на обробці в ГВС, шт;  $\Phi_n$  — номінальний фонд часу на рік, днів;  $T_{\text{поч}}$  — середній час очікування партії заготовок перед початковою обробкою, змін;  $T_{\text{сд}}$  — середній час очікування партії заготовок перед наступною обробкою, змін;  $k_3$  — коефіцієнт, який враховує нерівномірність вантажообігу, рівний 1,25.

Але на практиці при розрахунках цією формулою користуватися не можна, тому що з неї виходить, що кількість комірок складу залежить прямо пропорційно від кількості заготовок у тарі.

Розміри складу залежать від розмірів однієї комірки (ширини  $b$  і висоти  $h$ ) і їх кількості, допустимої висоти  $H_d$  і довжини  $L_d$  приміщення цеху, де розміщується склад.

$$H_c = (hz + h_1) \leq H_d; L_c = b \cdot k,$$

де  $H_c$  — висота складу;  $L_c$  — довжина складу;  $z$  — кількість комірок складу за висотою ( $z=1, 2, 3 \dots$ );  $h_1$  — висота мертвої зони від підлоги цеху (зона неможливості обслуговування складу краном-штабелером);  $k$  — кількість комірок по довжині складу

$$k = N_k / z.$$

У тому випадку, коли  $L_c \geq L_d$ , необхідно зробити подвійний склад або прийняти іншу конструкцію складу, але таким чином, щоб  $L_c \leq L_d$ .

### 2.3. Системи управління ГВС

У склад комплексу технічних засобів (КТЗ) управління ГВС входять управляючий обчислювальний комплекс (УОК), засоби отримання, перетворення, зберігання, відображення і реєстрації інформації, засоби подачі сигналів і виконуючі пристрої.

Автоматизовану систему управління (АСУ) за головними функціями поділяють на управляючу, інформаційну та допоміжну.

До управляючих функцій АСУ відносять програмно-логічне управління обладнанням, адаптивне управління об'єктом у цілому, а до інформаційних функцій — збір, обробку і представлення інформації про стан ГВС оперативному персоналу або передачу інформації для наступної обробки. Допоміжні функції АСУ — забезпечення рішень для системи внутрішніх задач.

Для виконання перелічених функцій АСУ необхідна взаємодія таких її складових частин: технічного, програмного, інформаційного, організаційного забезпечення та оперативного персоналу.

АСУ ГВС повинно вирішувати такі завдання: оперативне управління, планування, облік, контроль і діагностику, технологічну підготовку виробництва.

Завдання оперативного управління: управління технологічним процесом, групове управління технологічним обладнанням, управлінням автоматичними транспортно-складськими системами (АТСС).

Завдання планування: місячне планування (розрахунок партій запуску, коефіцієнта завантаження обладнання з зазначенням «вузьких» місць, складання попереднього графіка запуску партій заготовок в обробку, формування відомостей на постачання заготовок); оперативне планування на 2—5 діб; змінно-добове планування на кожне робоче місце.

Завдання обліку: виконання змінних завдань; зберігання та облік звітних документів про виконання змінних завдань; облік незавершеного виробництва; отримання заготовок на склад; готовність пристосувань, комплектів ріжучих інструментів та ін.

Завдання контролю і діагностики: контроль готовності обладнання до роботи; оперативна оцінка стану об'єкта управління і визначення причини його відмови; діагностика за результатами обробки стану вузлів об'єкта управління, які впливають на точність оброблених деталей.

Завдання автоматизованої системи технологічної підготовки виробництва (АСТПВ): забезпечення технологічності конструкції виробу; розробка технологічних процесів і управляючих програм; проектування технологічного оснащення.

Один із головних елементів АСТПВ, який визначає значну трудомісткість технологічної підготовки виробництва в умовах ГВС — підготовка управляючих програм (УП) для верстатів з ЧПУ. Найбільш раціональними засобами в умовах ГВС з управлінням обладнання від ЕОМ є використання систем автоматизованого програмування (САП).

Автоматизоване машинне програмування для верстатів з ЧПУ може здійснюватися з використанням ЕОМ різних класів: великих (ЕС ЕОМ), малих (ЕН ЕОМ) та мікроЕОМ («Електроніка-60», «Іскра-226»). Найбільше розповсюдження знайшли САП ЕС та САП СМ. Наприклад, використовуючи малі ЕОМ типу СМ-4, є можливість, крім підготовки управляючих програм, безпосередньо передавати їх на верстати ЧПУ по каналах зв'язку.

При розробці системи управління ГВС необхідно передбачити засоби, які повинні забезпечити автоматичну координацію роботи технологічного обладнання, АТСС і допоміжного обладнання, приймання рішень та регулювання технологічного процесу (ТП).

Всі рішення і регулювання ТП базуються на аналізі інформації, яка надходить від об'єктів управління. Для цього в оперативній пам'яті ЕОМ будується динамічна модель ГВС у вигляді

таблиці прийняття рішень. У цій таблиці кожна секція описує стан кожного елемента об'єкта управління.

Значне місце в загальній системі управління ТП займає система управління АТСС, яка виконується у вигляді самостійного закінченого блоку.

За технічними характеристиками найбільш придатні для СУ малі ЕОМ (СМ-3, СМ-4, СМ-1300, СМ-1420, ІВМ). Для нормального функціонування СУ ГВС використовують програмно-математичне забезпечення (ПМЗ), яке складається з функціональних пакетів прикладних програм. Ці програми реалізують функції системи управління. Крім того, є програми, що забезпечують вхід—вихід інформації, яка проходить через систему управління. ПМЗ системи управління, яка працює в реальному масштабі часу, повинна забезпечувати захист файлів даних від несанкціонованого доступу, а також реєстрацію всіх подій.

Для нормальної роботи СУ ГВС використовують операційну систему (ОС), яка повинна забезпечити роботу в реальному масштабі часу; одночасну роботу кількох користувачів у режимі роздільного часу; організацію ефективного завантаження—розвантаження задач; динамічне управління пам'яттю; можливість використання різних систем програмування та інше.

Наприклад, для ЕОМ СМ-4 розроблено декілька ОС: РАФОС, ДОС КП, ОС РВ. Найбільш ефективно застосовувати систему ОС РВ та її модифікації.

Для розробки СУ ГВС доцільно використовувати асоціативно-табличний підхід. Прикладом таких систем є системи БСП СУД+ +ФОБРИН; ВМ-11; СЕТОР; КВАНТ; ОРАС Е. Ці СУ використовують для управління базою даних.

## **2.4. Основні положення вибору компонентів ГВС**

На вибір компонентів ГВС (верстати, накопичувачі, транспортні системи, склади та ін.) впливає гнучкість — одне із найбільш складних понять у загальній концепції ГВС. Розглянемо декілька складових гнучкості, які є досить важливими і які необхідно враховувати при проектуванні ГВС.

Першою складовою гнучкості є розмір номенклатури групи деталей, що виготовляються на ГВС. Чим більша ця номенклатура (чим більше різноманітних деталей у групі), тим більша гнучкість ГВС. Цю складову називають технологічною гнучкістю. Від неї залежить гнучкість вибраних верстатів та номенклатура їх моделей, склад інструментів та гнучкість автоматичного оснащення, роботів зі змінними схватами, програмного забезпечення СУ ГВС та ін.

Другою складовою гнучкості є швидкість переналадки ГВС на випуск виробу іншого виду. Цей фактор перш за все визначається автоматизацією процесу отримання управляючої інформації

для ГВС (інтеграція з САПР), але в той же час значною мірою залежить від стандартизації використовуваних інструментів, матеріалів, заготовок та ін. Таким чином, чим вища швидкість і чим менша трудомісткість переналадки, тим більша гнучкість ГВС.

Наступними складовими є машинна гнучкість, маршрутна гнучкість, гнучкість за обсягом, гнучкість за розширенням ГВС, гнучкість роботи, гнучкість за продукцією та ін. Всі ці компоненти залежні один від одного. Але головними з цих складових є машинна і маршрутна гнучкості.

Машинна гнучкість — легкість перебудови технологічних елементів ГВС для виробництва заданої множини типів деталей.

Маршрутна гнучкість — здатність продовжувати обробку заданої множини типів деталей при відмовах окремих технологічних елементів ГВС.

Виходячи з цих положень, необхідно проводити такий вибір компонентів ГВС, який би забезпечив достатню для заданих умов гнучкість ГВС. Ці питання можна найпростіше вирішувати, використовуючи елементарні математичні моделі, які будуються головним чином на основі положень математичної логіки.

1. *Автоматизированные технологические комплексы «оборудование — робот»*: Метод. рекомендации. М., 1981.

2. *Роботизированные комплексы «оборудование — робот» стран — членов СЭВ*. М., 1984.

3. *Шеннон Р.* Имитационное моделирование систем — искусство и наука. Пер. с англ. / Под ред. Масловского Е. К. М., 1978.

4. *Капарчук В. Е., Токаренко В. М., Балабанов А. Н.* Основы проектирования и реконструкции механических цехов и участков машиностроительных и ремонтных производств. К., 1988.

5. *Азбель В. О., Егоров В. А., Звоницкий А. Ю.* и др. Гибкое автоматическое производство. Л., 1985.

6. *Испытательный стенд-полигон гибкого производственного участка механической обработки деталей тел вращения с АТСС*. Львов, 1988.

7. *Разработка номенклатуры перспективных накопительных устройств*. Одесса, 1986.

8. *Панов А. А., Аникин В. В., Бойм Н. Г.* и др. Обработка металлов резанием: Справочник технолога / Под общ. ред. Панова А. А. М., 1988.



## ІНТЕГРОВАНА СИСТЕМА ТЕХНОЛОГІЧНОЇ ПІДГОТОВКИ ГВС

### 3.1. Загальні положення

Гнучка виробнича система має всі ознаки, характерні для складної системи: єдина мета функціонування, складність реалізованих системою функцій, велика кількість складових елементів (модулів), складність поведінки системи, складність зворотних зв'язків, ієрархічна структура зв'язків підсистем і окремих елементів, ієрархія критеріїв якості функціонування всієї системи, взаємодія з зовнішнім середовищем і функціонування в умовах дії випадкових факторів, непостійність по часу розподілу вхідного навантаження, самоорганізація системи, надійність системи, побудованої з ненадійних елементів.

Така складна система для її створення і нормальної роботи потребує складного комплексу організаційно-технологічних заходів, пов'язаних з технологічною підготовкою виробництва (ТПВ). ТПВ включає комплекс робіт по проектуванню нових і вдосконаленню діючих технологічних процесів, оснащення і технологічного обладнання, розрахунку зведених матеріальних і трудових нормативів і технологічного супроводження виготовлених виробів.

Основа системи ТПВ — це проектування, яке, як об'єкт автоматизації, є складним інформаційним процесом, що безпосередньо пов'язаний з інтелектуальною діяльністю людини. В інформаційній структурі процесу проектування людина займає центральне місце і в загальному випадку принципово не може бути вилучена з цього процесу.

Виходячи з цього, ТПВ будується таким чином, щоб найбільш трудомісткі рутинні процеси виконувалися на ЕОМ. Таким чином, в умовах ГВС необхідна інтеграція автоматизації проектування і автоматизація технологічних процесів.

ТПВ включає три етапи. На першому етапі визначається номенклатура деталей, які доцільно виготовляти в умовах ГВС, а також вигляд і методи отримання вихідних заготовок для автоматичної обробки. Після вибору форми і розрахунку розмірів заготовки розробляється маршрутна технологія, визначається кількість операцій та послідовність їх виконання, тип обладнання, інструменту і оснащення для кожної операції.

На другому етапі досконально розробляється операційна технологія; в якій визначається послідовність обробки поверхонь

деталей, тип і розміри ріжучих інструментів та режими різання. Заповнюються розрахунково-технологічні карти, карти наладки і складається програма для верстатів з ЧПУ.

На третьому етапі проектується і виготовляється технологічна оснастка, ріжучий інструмент і вимірювальний інструмент, планується завантаження обладнання. За картами наладки виконуються налагодження верстатів, а за результатами обробки пробних деталей коректується УП з урахуванням заданих технічних умов.

Вся технологічна документація розробляється згідно з єдиною системою ТПВ (ЕСТПВ). Для її розробки застосовують систему автоматизованого проектування (САПР), яка поділяється на САПР конструкторської (САПР КПВ), технологічної (САПР ТПВ) та організаційної (САПР ОПВ) підготовки виробництва.

### **3.2. Відпрацювання конструкції виробу на технологічність з урахуванням вимог ГВС**

Відпрацювання на технологічність конструкції виробу є одним із найважливіших елементів ТПВ. Технологічність — це така властивість конструкції виробу, при якій забезпечуються його високі технічні та експлуатаційні характеристики з мінімальними витратами на виготовлення.

Вироби повинні відпрацьовуватися на технологічність, починаючи з етапу ескізного проектування. Комплекс робіт по відпрацюванню технологічності конструкції в умовах ГВС аналогічний роботам в умовах традиційного виробництва, але існують деякі додаткові вимоги, які враховують особливості застосування промислових роботів та іншого програмуючого обладнання. Технологічними будуть такі заготовки і деталі, для виготовлення яких можна використати прості за конструкцією автоматичні пристрої.

Відпрацювання конструкції виробу на технологічність проводиться в два етапи: якісна оцінка і розрахунок кількісних показників та визначення зміни рівня технологічності.

При якісній оцінці та відпрацюванні технологічності необхідно враховувати такі вимоги:

симетричні конструкції деталей, які мають асиметрично розміщені елементи (виступи, проточки, отвори і т. п.), привести до повної симетрії за рахунок введення доповнюючих конструктивних елементів;

асиметричні деталі повинні мати різко виражену асиметрію, причому ця асиметрія має бути розміщена на зовнішньому контурі;

якщо деталь має внутрішню асиметрію і її необхідно орієнтувати по внутрішньому контуру, то на зовнішній поверхні повинен бути елемент, розміщений згідно з внутрішнім контуром;

для кращої орієнтації деталей складної конфігурації на її поверхнях вводять доповнюючі конструктивні елементи, які при роботі деталі не потрібні;

щоб не допустити можливого зчеплення деталей типу спіральних пружин, при автоматизації процесу їх транспортування і орієнтації вводять конструктивні зміни так, щоб діаметр дроту був більшим, ніж проміжок між сусідніми спіралями;

розміри пазів, отворів великого діаметра та інших елементів конструкцій повинні бути такими, щоб запобігти западанню однієї деталі в другу;

нетехнологічними є плоскі неметалеві деталі, які можуть спричинити злипання за рахунок статичної електрики.

Крім того, в процесі відпрацювання виробу на технологічність розглядають його точність, шорсткість оброблених поверхонь та уніфікацію конструктивних елементів, розмірів і матеріалів.

Після проведення якісної оцінки технологічності виробу переходять до кількісної оцінки. До цих показників відносять основні та допоміжні показники.

Основними показниками технологічності конструкції виробу є абсолютна і відносна трудомісткість виготовлення виробу, матеріалоемність, уніфікація матеріалів, енергоемність виробу та його собівартість.

До допоміжних показників технологічності конструкції виробу відносять показники уніфікації конструкції (коефіцієнт уніфікації конструктивних елементів і розмірів, коефіцієнт застосування типових технологічних процесів) та показники обробки (коефіцієнт точності обробки і коефіцієнт шорсткості поверхні).

Методика розрахунку основних і допоміжних показників технологічності конструкції виробу наведена у праці [1]. Ці показники визначають до і після проведення обробки конструкції виробу на технологічність. Рівень технологічності конструкції виробу, який характеризується коефіцієнтом рівня  $k_p$ , визначається як співвідношення досягнутого показника технологічності до значення базового показника

$$k_p = k/k_0,$$

де  $k = \prod_{i=1}^n k_i$ ;  $i$  — частковий показник технологічності, визначений

після відпрацювання виробу на технологічність;  $k_p = \prod_{i=1}^n k_{0i}$ ;  $k_{0i}$  — частковий показник технологічності, визначений до відпрацювання виробу на технологічність;  $n$  — кількість показників.

Значення  $k_p$  після проведення відпрацювання виробу на технологічність повинно бути  $k_p \geq 1$ . Якщо  $k_p < 1$ , то це вказує на те, що технологічність виробу погіршена.

У цей час автоматизовані тільки дві задачі відпрацювання виробу на технологічність [2]: запозичення виробу та оцінка техно-

логічності конструкції. Тому на цьому етапі у більшості випадків безпосередньо відпрацювання конструкції виробу на технологічність виконується особисто технологом у спільній роботі з конструктором виробу. Автоматизація інженерної роботи складається в розрахунках частинних показників і показника рівня.

У Львівському політехнічному інституті розроблена автоматизована система САПР—ГВС для проектування ГВС механічної обробки деталей типу тіла обертання. Складовою частиною цієї системи є підсистема розрахунку показників технологічності виробів. Наприклад, коефіцієнт точності для деталей, які обробляються на токарних верстатах з ЧПУ, повинен бути  $k_T \geq 0,89$ , а коефіцієнт шорсткості поверхні —  $k_{ш} \geq 0,68$ . Якщо значення цих коефіцієнтів будуть меншими від встановлених, то деталь вважатиметься нетехнологічною.

### 3.3. Проектування заготовок для ГВС

В умовах ГВС у машинобудуванні найбільше використання отримали заготовки з прокату, відливання, поковки і штампування.

Заготовки з прокату вибирають головним чином для виготовлення деталей типу тіл обертання. Прокат розрізають на штучні заготовки. Крім того, для деталей класу валів і т. п. торці заготовок перед подачею на ГВС обробляють згідно з розміром і роблять на них центрові отвори. Заготовки з прокату доцільніше виготовляти при перепаді зовнішніх діаметрів менше 10 мм. Крім того, необхідно враховувати програму випуску і проводити економічне обґрунтування порівняно з іншими методами отримання заготовки.

Вибір способу отримання відливок залежить від забезпечення заданої якості готових виробів при їх мінімальній собівартості, яка визначається підсумовуванням собівартості отримання заготовки і подальшої механічної обробки.

Найбільше поширення мають такі способи отримання відливок: литво в землю, машинна формовка та литво в кокіль. Вибір того чи іншого способу залежить, у першу чергу, від економічної доцільності способу, а також від програми випуску виробу.

Правила виконання креслень відливок встановлені ГОСТ 2.423-73. Креслення повинні мати всі необхідні дані для виготовлення контролю і приймання відливок. Якщо відливка проста за конструкцією, то допускається виготовлення креслення відливки на кресленні деталі (враховуючи всі необхідні припуски).

Отримання заготовок у вигляді поковок методом вільної ковки в умовах ГВС дуже обмежене. Незважаючи на те що цей метод має деякі переваги (висока якість металу після ковки, можливість виготовлення великих заготовок, немає потреби в обладнанні великої потужності, універсальному технологічному оснащенні та ін.), його застосування обмежується такими недоліками: невисо-

ка точність заготовок, що негативно впливає на точність базування в умовах автоматичного виробництва; низька продуктивність; великі припуски на обробку та ін.

Тому найбільше розповсюдження в умовах ГВС знайшли заготовки у вигляді штамповок, отриманих методом об'ємної штамповки. В цьому випадку заготовка має високу точність форми і розмірів. Крім того, є можливість виготовляти заготовки дуже складної конструктивної форми з якісною поверхнею і малими витратами вихідного матеріалу.

При проектуванні заготовок і встановленні припусків можна користуватися рекомендаціями, наведеними в праці [3].

### 3.4. САПР ТП в умовах функціонування ГВС

Ефективність експлуатації ГВС у першу чергу визначається рівнем проектування технологічних процесів. Під час проектування вирішуються різні питання, починаючи від формування структури, складу операцій і переходів і закінчуючи визначенням режимів різання і нормування операцій.

В умовах ГВС, оскільки номенклатура оброблюваних виробів дуже велика, найбільш доцільним є автоматизоване проектування технологічних процесів. При цьому ступінь опрацювання ТП для ГВС повинен бути дуже глибоким. Процес проектування ТП з використанням САПР-ТП поділяється на три головних етапи: проектування маршрутної технології, операційної технології і управляючих програм.

ТП проектують за допомогою САПР-ТП різними методами. Але їх можна поділити на два класи: адресації і синтезу. Метод адресації побудований на використанні принципу уніфікації і може використовуватися на розробці групових і типових ТП. Цей метод має три модифікації: побудова ТП без зміни структури аналога і параметричного настроювання, побудова ТП без зміни структури аналога, але з параметричним настроюванням (розрахунок режимів різання, норм часу, підстановка розмірних характеристик: назв інструментів і т. п.); побудова ТП з вилученням елементів і зв'язків і з параметричним настроюванням.

У загальному випадку ТП-аналог повинен мати всі елементи, які використовують у робочому ТП. Може бути в процесі проектування тільки вилучення деяких елементів і внутрішніх зв'язків, які з ними пов'язані. Для реалізації цього методу необхідні тільки процедури розрахунку та вибору рішень із заданої їх множини.

Метод синтезу використовують для проектування одиничних, типових і групових ТП. Він набагато складніший від методу адресації і дуже мало формалізований. Для реалізації цього методу необхідні один або декілька етапів синтезу структур. За допомогою процедури синтезу є можливість проектувати складний інструментальний перехід, блочний і позиційний переходи, управляючу програму і т. п.

Розглядають такі модифікації методу синтезу: проектування з використанням ТП-аналогів, з використанням елементів-аналогів (наприклад блочних переходів) і без аналогів. До досконалої форми організації проектування ТП методом синтезу відносять той випадок, коли елементами, з яких формується ТП, є робочі і допоміжні переходи.

Для проектування технологічних процесів методом адресації розроблена значна кількість автоматизованих систем. Головні з них — це «Групроцесс», «Старт», «Сириус»; «Капри», «Корпус», «Адрес» та ін. За принципом всі ці системи однотипні. Відрізняються тільки тим, що одна система, наприклад, проектує технологію і УП лише для верстатів токарної групи (система «Групроцесс»), а інша — для деталей різних класів (системи «Старт», «Сириус» та ін.).

Розглянемо дуже коротко принцип роботи системи «Адрес» [2], яка передбачена для проектування рішень методом адресації до уніфікованих рішень. Вона має спеціальні засоби настроювання на виконання конкретної проектної функції і адаптації до виробничих умов. Цю систему слід розглядати як інваріантне програмно-методичне ядро, на якому можуть бути побудовані конкретні системи проектування методом адресації.

Система складається з трьох підсистем: підсистема проектування рішень; підсистема для настроювання системи на виконання конкретної функції і її адаптації до виробничих умов за допомогою засобів введення даних; підсистема для управління базами даних. У склад системи «Адрес» введені всі необхідні засоби для реалізації схеми проектування рішень методом адресації, параметричного настроювання рішень, вводу та виводу даних, організації інформаційного забезпечення, настроювання системи на конкретну функцію і конкретні виробничі умови.

Крім розглянутих систем, які реалізують метод адресації, розроблені системи, які проектують ТП методом синтезу. Представником такої системи, наприклад, є система САПР-Т «Кислород-маш» [4]. Ця система призначена для проектування операційного ТП механічної обробки різних класів деталей та котельно-зварювальних і контрольних операцій. Вихідними документами є операційні карти та відомість оснащення. Для вводу даних про деталі і елементів ТП розроблена мова, яка включає систему кодів і параметрів. У масивах системи знаходяться дані про верстати, пристрої, способи обробки, про ріжучий і вимірювальний інструменти, припуски та інші елементи складних технологічних рішень.

У системі всі задачі розподілені на дві групи: 1) задачі класифікації; 2) задачі вибору і синтезу технологічних рішень. Перша група задач аналізує вхідні і проміжні дані та визначає схеми формування рішень. При класифікації поверхонь деталі і заготовки вводиться відношення порядку за послідовністю їх обробки, що і визначає структуру ТП.

Пошук елементів ТП виконується процедурами відображення множини елементів деталі в множині елементів ТП. Потім ці

елементи синтезуються в ТП. Для визначення оптимальності ТП необхідно сформулювати критерій оптимальності (продуктивність обробки, приведені затрати на обробку, технологічна собівартість).

При розробці оптимізаційних математичних моделей разом з функцією мети встановлюють обмеження, які можуть бути представлені системою функціональних залежностей або нерівностей. Розглядають структурну і параметричну оптимізацію ТП. До першої відносять вибір оптимальної структури ТП, а до другої — розрахунок оптимальних технологічних параметрів (припусків, режимів різання і т. п.). Структурна оптимізація забезпечує вибір найкращого варіанта ТП, в якому знайдено оптимальні значення технологічних параметрів.

### **3.5. Системи автоматизованого програмування управляючих програм технологічного обладнання ГВС**

Однією з умов прискореного впровадження ГВС є спрощення програмування і програмного забезпечення, зменшення трудомісткості складання УП для верстатів з ЧПУ. В цей час більшість САПР ТП, які використовуються на підприємствах, можуть проектувати тільки маршрутну та операційну технології. Для впровадження цієї технології на ГВС, де використовуються верстати з ЧПУ і промислові роботи (ПР), необхідно розробити для кожного верстата і ПР УП.

Більшість систем САПР ТП практично дуже важко адаптуються до конкретних умов виробництва і їх складно впроваджувати на різних підприємствах. Тому ще є багато випадків, коли УП розробляє технолог-програмувальник вручну. Це значно зменшує якість УП і дуже сильно збільшує цикл технологічної підготовки виробництва. Крім того, ГВС буде в цьому випадку не такою гнучкою і оперативною, тому що на складання УП вручну необхідно витратити значний час.

Для поліпшення цього становища дуже багато підприємств використовує самостійні системи автоматичного програмування (САП) УП. Це такі системи: ЕХАРТ1, ЕХАПР2, 2С.L, АРТ, ТЕХТРАН, САПТ, САП ЕС (СМ) та ін. Крім того, для проектування УП для роботів розроблені системи програмування, які поділяються на три групи: системи навчання, роботоорієнтовані системи та системи, орієнтовані на задачі.

При використанні систем навчання для розробки УП для роботів необхідно попередньо здійснити всі необхідні рухи спільно з роботом. Для цих систем характерна простота і легкість програмування, але вони мають суттєві обмеження, пов'язані з неможливістю використовувати датчики, умовні переходи, цикли і т. п. До систем навчання відносять системи фірм AS EA, «Цінцінати» і «Мілакрон».

Друга група систем вільна від недоліків першої і має можливість використовувати інформацію від зовнішніх елементів для корекції рухів роботів. Представниками цієї групи систем є, наприклад, WAVE, AL, AML, PAL, RAIL, HELP та ін.

Перспективними системами є системи третьої групи. Їх перевага полягає в тому, що для системи задають не елементарні рухи робота, а дії, які повинні виконуватися над об'єктами. До таких систем відносять, наприклад, системи: HAND-EYE, LAMA, AUTO-PASS, RAPT.

Використання тієї чи іншої системи для автоматизованого проектування УП для роботів залежить не тільки від системи, а й від системи управління роботом. Тому при виборі системи необхідно обов'язково враховувати ці особливості.

Розглянемо більш детально систему САПЕС (СМ) для автоматизованого проектування УП для верстатів з ЧПУ, яка знайшла значне поширення на підприємствах країни.

Система САПЕС (СМ) призначена для підготовки УП до одно- і багатоінструментальних верстатів фрезеруючої, токарної, розточної, карусельної свердлильної та електроерозійної груп на ЕОМ серії ЕС або СМ-4. Проектування програми складається з двох етапів: технологічна підготовка і програмування.

Перший етап включає вибір на кресленні операційної карти ескіза координатних осей і точки початку обробки, а також нанесення схеми руху інструменту та позначення номерів точок, прямих і кривих. При цьому послідовність обробки, режими різання та ріжучий інструмент вибрані системою САПР ТП.

На другому етапі складають розділ даних — опис геометричних елементів (точок, прямих, кривих). Після цього записують процедуру всього циклу обробки, перфорують інформацію на носій, транслюють програму на ЕОМ і отримують при необхідності УП на перфострічці.

Для системи САПЕС (СМ) використовують спеціальну мову, яка являє собою скорочені поняття і слова російської мови, а також математичні поняття та символи. Ця мова дає змогу в кожному окремому операторі розміщувати слова і символи. Програма на мові САПЕС (СМ) складається з двох розділів: розділ даних розділ процедур.

Розділ даних включає опис геометричних елементів: точок, прямих і кіл у вибраній системі координат. Кожний оператор складається з двох частин: лівої (визначуваної) і правої, яка його визначає. Між ними стоїть розділяючий знак «=». На кінці кожного оператора стоїть символ «;». Розділ даних закінчується знаком оклику «!». Для кожного типу об'єкта встановлені стандартні позначення: ТК — точка; ПР — пряма; КР — коло; X — координата X; Y — координата Y; Б — кут; R — радіус. Взаємне розміщення геометричних елементів визначається за допомогою таких символів: Ц — центр кола; БХ — більше X (справа); МХ — менше X (зліва); БУ — більше Y (зверху); МУ — менше Y (знизу).



Розглянемо завдання деяких геометричних елементів на прикладі. Точка задана координатами  $X=100$  мм,  $Y=80$  мм. Тоді  $TK1=X/100$ ,  $Y/80$ . Якщо точка задана перетином прямих  $PR1$  і  $PR2$ , то  $TK2=PR1$ ,  $PR2$ ; У випадку, коли точка задана двома дотичними колами  $KP1$ ,  $KP2$ , ми маємо  $TK3=KP1$ ,  $KP2$ ; і т. д. Подібних прикладів можна навести багато.

Прямі задають таким чином. Якщо пряма  $PR1$  проходить через точки  $TK1$  і  $TK2$ , то  $PR1=TK1$ ,  $TK2$ ; У випадку, коли пряма

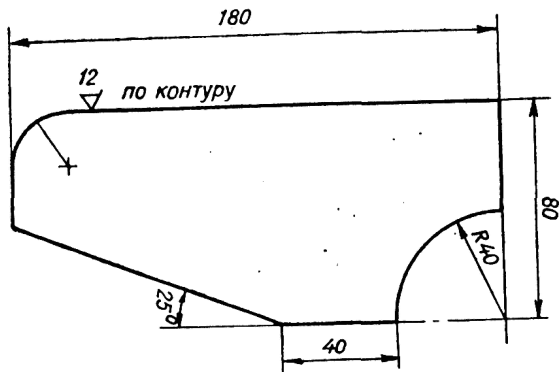


Рис. 3.1. Креслення деталі (планка АП. 3.100.01), призначеної для обробки на верстаті з ЧПУ.

паралельна осі  $Y$  і знаходиться від неї на 50 мм, то  $PR2=X/50$ . Коли пряма  $PR3$  проходить через точку  $TK3$  і розміщується під кутом  $50^\circ$  відносно осі  $X$ , то  $PR3=TK3$ ,  $B/500000$ .

Криві задають таким методом. Наприклад, центр кола розміщується на точці  $TK1$ , а радіус кола  $R=40$  мм, то  $KP1=ЦTK1$ ,  $R/40$ ; У випадку, коли центр кривої розміщується на точці  $TK2$  і коли крива  $KP2$  дотична до прямої  $PR1$ , тоді  $KP2=ЦTK2$ ,  $PR1$ .

Система САПЕС (СМ) має ще багато інших способів задання геометричних об'єктів, а ми розглянули головні. Після складання розділу даних переходять до розділу процедур.

Розділ процедур включає опис траєкторії руху центра ріжучого інструменту, елементи режиму різання, а також команди управління верстатом. Таким чином, процедура — це сукупність операторів, які описують закінчену операцію обробки заготовки. Для такої процедури за допомогою ЕОМ розробляється управляюча програма в кодї системи ЧПУ. Оператори процедури поділяють на основні та технологічні команди управління верстатом з ЧПУ. Кожний оператор в процедурі закінчується символом «;», а в кінці — «!».

Система САПЕС (СМ) має можливість автоматично розраховувати еквідистанту руху інструменту. Для її завдання використовують оператори  $FR_{\pm}$ ,  $R$ ,  $FR_{\emptyset}$ , Знак «+» чи «—» залежить від розміщення центру ріжучого інструменту відносно контура

заготовки при вибраному напрямку руху: перший випадок, коли інструмент знаходиться з правого боку контура, і другий — з лівого боку. Величина  $R$  (радіус інструменту) завжди позитивна. Відміна автоматичного розрахунку контура виконується оператором  $\Phi R \emptyset$ .

Для задання корекції на радіус іструменту використовують оператори  $\pm НК$  (початок корекції). Знаки враховують таким же чином, як і при автоматичному розрахунку еквідистанти. Відміна

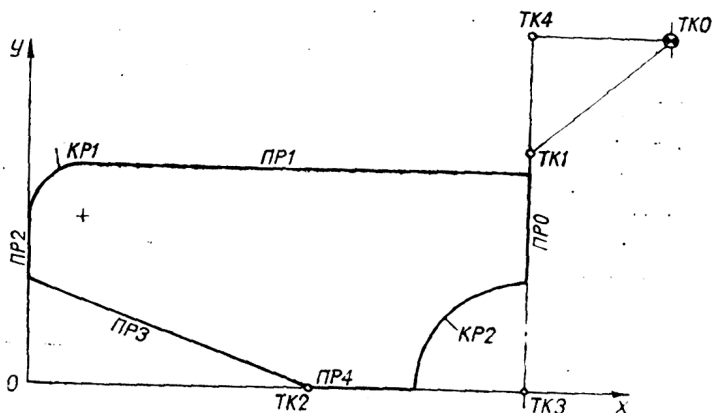


Рис. 3.2. Розрахунково-технологічна карта для автоматизованого проектування УП для планки АП.3.100.01.

корекції здійснюється оператором  $КК$  (кінець корекції). Номер коректора може бути в межах 01—99.

Розглянемо приклад складання програми на мові САПЕС (СМ) для обробки деталі (рис. 3.1) по контуру [5]. Перед тим як перейти до складання програми, необхідно, використовуючи креслення деталі (рис. 3.1), розробити розрахунково-технологічну карту обробки деталі, вибрати верстат, встановити режими різання і порядок обробки поверхонь.

Для обробки деталі, яка виготовляється із сталі 45, приймаємо вертикально-фрезерний верстат з ЧПУ, який має номер 00050 в системі САПЕС (СМ).

Приймаємо кінцеву фрезу діаметром 10 мм і такі режими різання: глибина різання 0,5 мм (чистова обробка); подача робоча 300 мм/хв; подача швидкого руху 800 мм/хв; частота обертання фрези 1200 об/хв. Встановлюємо номер програми 5212. Програму, наприклад, складає І. С. Петров.

Розробляючи розрахунково-технологічну карту (рис. 3.2), вибираємо систему координат, нульову точку  $ТК0$ , позначаємо інші точки, прямі і криві. Напрямок обробки приймаємо такий: від точки  $ТК0$  до точки  $ТК1$ , потім по прямій  $ПР0$  до прямої  $ПР1$ , далі по прямій  $ПР1$ , кривій  $КР1$  і т. д. до точки  $ТК4$  і  $ТК0$ .

## Приклад програмування

ПРОГРАМА=5212;  
СТАНОК=ØØØ5Ø;  
ДЕТАЛЬ АП.3 1ØØ.Ø1;  
ПЕТРОВ И С. ФРЕЗА Ø10;  
ТКØ=X/23Ø Y/13Ø;  
ТК1=X/18Ø, Y/88;  
ТК2=X/12Ø; Y/Ø;  
ТК3=X/18Ø, Y/Ø;  
ТК4=X/18Ø, Y/13Ø;  
ПР0=X/18Ø;  
ПР1=Y/8Ø;  
ПР2=X/Ø;  
ПР3=ТК2, Б/-25ØØØØ;  
ПР4=Y/Ø;  
КР1=МУПР1, БХПР2, R/2Ø;  
КР2=ЦТК3, R/4Ø;!

НПØ; S/8ØØ; ОТТКØ; ДОТК1; S/3ØØ; Z/-5Ø.;  
ЗАЖИМ Z;+НКØ 1; P/5; ПОПРØ; ФР+; ПОПР1;  
ПО+КР1; ПОПР2; ПОПР3; ПОПР4; МХТК;  
ПО-КР2; БУТК; ПОПРØ; ДОТК4; S/8ØØ;  
РАЗЖИМ Z; Z/5Ø; ФРØ; ККØ 1; ТОРМШП;  
ДОТКØ; КПØ;!

У процедурі цього прикладу є технологічні команди; ЗАЖИМ Z (автоматичне закріплення шпіндельної бабки); РАЗЖИМ Z (автоматичне розкріплення шпіндельної бабки); ТОРМШП (автоматичне гальмування шпінделя).

Після складання цієї програми її переносять на перфокарти або магнітну стрічку, або вводять в ЕОМ оперативно. Після розрахунку ЕОМ видає на друк програму для верстата з ЧПУ і перфострічку. В процесі роботи з ЕОМ також можуть бути помилки.

Система САПЕС (СМ) побудована так, що ЕОМ видає на друк всі помилки оператора, які необхідно виправити і тільки після цього отримати програму.

### 3.6. САПР технологічного оснащення

Важливим ланцюгом технологічної підготовки виробництва є проектування і виготовлення технологічного оснащення. Витрати на оснащення становлять 70...80% всіх витрат на технологічну підготовку виробництва, а їх питома вага в загальній собівартості продукції становить 10...15% [6].

Проектування та виготовлення технологічного оснащення завжди були одним із вузьких місць технологічної підготовки виробництва в умовах одиничного та серійного виробництва. Це дуже стримує темп ТПВ нових виробів і призводить до зниження ефективності виробництва. В умовах необхідності автоматизації виробництва при впровадженні ГВС ставляться підвищені вимоги

до своєчасного і якісного проектування технологічного оснащення і особливо верстатних пристроїв.

Для повного використання технологічних можливостей обладнання ГВС верстатні пристрої повинні задовольняти вимоги по забезпеченню точності, жорсткості, базування і закріплення великої номенклатури заготовок за допомогою найпростіших налагоджуваних елементів, точної орієнтації в координатній системі верстата з ЧПУ, вільного підходу ріжучого інструменту до всіх оброблюваних поверхонь.

Поставлені вимоги необхідні для того, щоб забезпечити при частій зміні номенклатури оброблюваних деталей найменшу кількість наладок і базових агрегатів, які зберігаються безпосередньо на ГВС. Крім того, необхідно забезпечити точність розміщення вихідної точки обробки з положенням заготовки в пристрої. Це забезпечується за рахунок спеціального розміщення базових елементів на пристрої. Конструкція і розміри базових елементів повинні бути єдиними для всіх пристроїв комплексу ГВС.

Підвищити ефективність проектування можна за рахунок класифікації та уніфікації більшості елементів пристроїв, а також за рахунок впровадження ЕОМ у процес проектування. Сучасні системи САПР технологічного оснащення побудовані на розробці конструкції з типових елементів, склад яких визначається на основі аналізу і уніфікації технологічного оснащення та інструменту. Необхідно додати, що сучасні САПР технологічного оснащення мають обмежену область застосування. По-перше, вони дають змогу синтезувати нескладні конструкції, а по-друге, вони не мають достатньої адаптивності. Введення діалогового режиму зменшує вплив вказаних недоліків, але, незважаючи на це, системи САПР технологічного оснащення не дають змоги охопити повністю питання проектування всіх видів і класів оснащення.

Діючі САПР дозволяють проектувати розділяючі штампи, свердлильні пристрої, ріжучий інструмент та ін. Для проектування штампів розроблені системи: ШТАМП-80, АВТОШТАМП-ЕС і «Оснастка». Вони проектують розділяючі штампи сумісної, простої і послідовної дії. Вихідною інформацією є креслення деталі і характеристика матеріалу (товщина, марка, тимчасовий опір при розтягу, опір зрізу та ін.). Системи реалізуються на ЕОМ та АРМ-М. При цьому вирішуються задачі, які стосуються до вибору типового представника з базового набору, визначення значень параметрів уніфікованих елементів конструкцій, компоновки елементів, розрахунку на міцність елементів конструкції, розрахунку розмірів ріжучих контурів, формування технічної документації у вигляді робочих креслень і специфікацій та ін.

Для проектування свердлильних пристроїв використовують системи: КОНДУКТОР-1, КОНДУКТОР-2, КОНДУКТОР-3. Вихідними даними є опис оброблюваної деталі. Системи роблять автоматизований синтез свердлильних пристроїв і отримання на них необхідної графічної та текстової конструкторської і технологічної документації. Для роботи цих систем використовують ЕОМ ЕС.

Аналогічно працюють і системи для проектування ріжучого інструменту. Таким чином, можна зазначити, що розроблено дуже мало систем САПР для проектування технологічного оснащення. Крім того, вже розроблені системи охоплюють дуже малу номенклатуру оснащення для автоматизованого проектування. Тому стоїть питання розробки інтегрованих систем САПР, за допомогою яких можна було б проектувати необхідне технологічне оснащення.

### **3.7. Технологічне проектування ГВС та організація її роботи**

Після опрацювання конструкцій виробів на технологічність, проектування заготовок, технологічних процесів, технологічного оснащення та інструментів переходять до технологічного проектування ГВС, яке охоплює рішення таких питань: 1) визначення кількості верстатів з ЧПУ; 2) вибір роботів-маніпуляторів; 3) визначення кількості і типу приверстатних накопичувачів; 4) вибір розмірів касет або транспортної тари та розрахунок їх ємності і кількості; 5) вибір і визначення розмірів автоматизованого складу; 6) компоновка і планування ГВС; 7) вибір типу і розрахунок кількості транспортних роботів; 8) розрахунок циклової та ефективної продуктивності і визначення організаційно-технічного рівня ГВС.

Розробка всіх цих питань є дуже складним завданням, яке необхідно вирішити на стадії проектування ГВС у період технологічної підготовки виробництва. Безумовно, ці питання не треба вирішувати в тих випадках, коли ГВС розроблена і введена у виробництво. Для таких ГВС необхідно тільки вибрати заготовки деталей; розглянути питання технологічності, спроектувати технологію, технологічне оснащення та розглянути організаційні питання.

Розглянемо детальніше питання технологічного проектування ГВС. Згідно з технологічними процесами вибирають типи і моделі верстатів. Кількість верстатів визначають за річною трудомісткістю однотипних операцій та за дійсним річним фондом часу для кожної моделі верстата. Отриману розрахункову кількість верстатів округлюють до цілого числа і визначають коефіцієнт завантаження верстатів. Його значення повинно бути не менше 0,75. В інших випадках необхідно переглянути або номенклатуру і річну програму оброблюваних на ГВС деталей, або технологічний процес.

Для кожного верстата вибирають тип і модель робота-маніпулятора, виходячи з конструктивних особливостей деталей та їх ваги. У деяких випадках економічно доцільним є встановлення робота-маніпулятора для обслуговування кількох верстатів.

Тип приверстатних накопичувачів залежить від вибору транспортної тари або від прийнятого способу передачі деталей від од-

ного робочого місця до іншого. В деяких випадках це може бути приверстатний накопичувач у вигляді підіймача, а в інших — тактовий стіл.

Вибір типу транспортної тари залежить від конструктивних особливостей деталей. Наприклад, якщо маємо деталі типу тіл обертання і їх довжина не перевищує діаметра більш ніж у три рази, то доцільніше використовувати для їх транспортування касети з вертикальним розміщенням їх осей. При обробці деталей типу валів більш доцільною транспортною тарою будуть касети з розміщенням деталей у горизонтальному положенні. Для корпусних деталей краще використовувати палети.

Ємність тари залежить від її розмірів і від розмірів заготовок, які обробляють на ГВС. Заготовки необхідно розміщувати таким чином, щоб була можливість захвату кожної з них захватним органом робота-маніпулятора. Після встановлення кількості заготовок в одній транспортній тарі необхідно розрахувати загальну кількість тари  $n_T$ .

Її можна визначити з двох умов. По-перше, виходячи з кількості робочих місць і ємності приверстатних накопичувачів. По-друге, виходячи з приведеної виробничої програми випуску виробів. Із цих двох умов приймається та, в якій кількість тари буде більшою.

У першому випадку

$$n_T = S_n k_1 (1 + k_2) k_3,$$

де  $S_n$  — кількість одиниць технологічного обладнання на ГВС (кількість робочих місць);  $k_1$  — кількість одиниць тари, яка знаходиться на кожному робочому місці (на кожному приверстатному нагромаджувачі);  $k_2$  — кількість комплектів тари з заготовками (комплект ємністю  $S_n k_1$ ), які знаходяться на очікуванні сробки;

$$k_2 = k_{2.1} + k_{2.2},$$

$k_{2.1}$  — кількість комплектів тари з заготовками (комплект ємністю,  $S_n k_1$ ), які очікують початкової обробки;

$k_{2.2}$  — кількість комплектів тари з заготовками (комплект ємністю  $S_n k_1$ ), які знаходяться на проміжному зберіганні перед подальшою обробкою;

$k_3$  — коефіцієнт, який враховує нерівномірність вантажообігу;

$k_3 = 1,25$ .

У другому випадку

$$n_T = \frac{N_{np} k_5 k_3}{\Phi_d k_4 k_{1f}},$$

де  $N_{np}$  — приведена річна програма випуску виробів, шт;

$\Phi_d$  — дійсний річний фонд часу, днів;

$k_4$  — кількість робочих змін на добу, змін;

$k_5$  — кількість змін роботи ГВС без переналадки на іншу номенклатуру деталей, змін;

$k_{1j}$  — кількість заготовок в одиниці транспортної тари, шт.  
Визначену з двох умов кількість тари заокруглюють до цілого числа в більшу сторону.

Вибір і визначення розмірів автоматизованого складу починають з розрахунку кількості комірок  $N_k$ :

$$N_k = \frac{N_{\text{ип}} k_5 k_3 k_7}{\Phi_d k_4 k_{1j} k_6} (1 + k_2),$$

де  $k_6$  — кількість одиниць тари, яка буде зберігатися в одній комірці, шт;

$k_7$  — коефіцієнт, який враховує певну кількість комірок для зберігання технологічного оснащення та інструменту;

$$k_7 = 1,2-1,4.$$

Розміри автоматизованого складу залежать від кількості комірок, їх розмірів, зони обслуговування краном-штабелером по висоті  $H$  і від допустимої довжини складу  $L$ .

Загальна площа торцевої поверхні складу  $F$

$$F = hbN_k, \text{ м}^2,$$

де  $h$  — висота комірки, м;  $b$  — ширина комірки, м.

Загальна довжина складу

$$L_c = F/H, \text{ м}.$$

Якщо  $L_c > L$ , то приймають здвоений склад (дві секції). У випадку, коли довжина зведеного складу  $L_c > L$ , то приймають склад з трьома секціями, які обслуговуються кранами-штабелерами, і т. д. В усіх випадках необхідно, щоб  $L_c \leq L$ .

Після вибору кількості технологічного обладнання і визначення розмірів автоматизованого складу переходять до компоновки і планування ГВС.

Призначення компоновки і планування ГВС — врахування потреби в необхідних виробничих площах, раціональне розміщення технологічного обладнання, транспортно-складської системи, енергетичного обладнання, допоміжних систем і пристроїв.

На підставі компоновочної схеми виконують розміщення ГВС у механічному цеху і розробляють взаємний зв'язок ГВС з іншими дільницями і підрозділами. Після його розробки переходять до планування ГВС. Розміщення технологічного обладнання виконують згідно з технологічним процесом, вздовж виробничого прольоту. З тильного боку верстатів передбачають спеціальні проїзди для руху допоміжного транспортного обладнання і проходу людей.

Обладнання АТСС рекомендують розміщувати на площі міжколонного простору (мертві зони), а верстати — за принципом максимального і мінімального зняття стружки, яка утворюється при механічній обробці. Між типовими сторонами верстатів проводять канали, призначені для транспортування стружки. Системи транспортування стружки повинні бути максимально наближені до технологічного обладнання. Прив'язку обладнання вико-

нують розмірними лініями до осей колон цеху від заданої загальної бази і між суміжними одиницями обладнання.

Після розробки планування дільниці ГВС і уточнення розміщення транспортних систем вибирають тип транспортного робота і визначають їх кількість  $n_p$ .

$$n_p = 1,2 \frac{\left( \sum_{i=1}^n \frac{T_{шт. \max}}{T_{шт. i}} \right) T_{обс.} \cdot k_7}{T_{шт. \max}} k_7,$$

де  $T_{шт. \max}$  — штучний час операції, яка має найбільшу тривалість;  $k_7$  — коефіцієнт, який враховує тривалість обробки партії заготовок, яка знаходиться в одиниці тари, і час обслуговування  $T_{обс}$  транспортним роботом одного робочого місця;

$T_{шт. i}$  — штучний час обробки заготовки на  $i$ -й операції;  $k_7 = 1$ , якщо  $T_{шт. i} \cdot k_{1j} > T_{обс}$  для всіх технологічних операцій  $n$ , якщо  $T_{шт. i} \cdot k_{1j} \leq T_{обс}$ , то  $k_7$  дорівнює кількості операцій, для яких  $T_{шт. i} \cdot k_{1j} \leq T_{обс}$ .

Визначену кількість  $n_p$  округляють до цілого числа в більшу сторону.

Циклова продуктивність ГВС

$$Q_{ц} = T_c / T_{шт. \text{сер.}} \cdot S_{п},$$

де  $T_c$  — час, для якого визначають продуктивність ГВС; наприклад,  $T_c = T_{шт. \max} \cdot k_{1j}$ ;  $T_{шт. \text{сер.}}$  — середній штучний час технологічної операції

$$T_{шт. \text{сер.}} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n T_{шт. i}.$$

Ефективна продуктивність ГВС

$$Q_{\text{еф}} = T_c / (T_{шт. \text{сер.}} + t_{обс.} + t_{орг}) S_{п}$$

де  $t_{обс.} = T_{обс} / n$ ;  $T_{обс}$  — час, витрачений на обслуговування за час  $T_c$ ;

$t_{орг.} = T_{орг} / n$ ;  $T_{орг}$  — час простоїв з організаційних причин за час  $T_c$ .

Організаційно-технічний рівень ГВС визначається коефіцієнтом, який характеризує ступінь досягнення циклової продуктивності

$$\eta_{\text{о.т.р}} = Q_{\text{еф}} / Q_{ц}.$$

До питань організації роботи ГВС відносять розробку графіка послідовності запуску технологічних операцій; організацію раціональної роботи обслуговуючого персоналу; розробку графіка вивантаження тари з готовими деталями і завантаження заготовками автоматизованого складу; організація ремонту технологічного обладнання і оснащення; розробка графіку запуску партій заготовок (комплектів номенклатури деталей) та ін. Всі ці питання необхідно вирішувати в комплексі, пов'язуючи з надійною роботою ГВС.



1. Ковшов А. Н. Технология машиностроения. М., 1987.
2. Митрофанов С. П., Куликов Д. Д., Милев О. Н., Падун Б. С. Технологическая подготовка гибких производственных систем / Под общ. ред. Митрофанова С. П. Л., 1987.
3. Панов А. А., Аникин В. В., Бойм Н. Г. и др. Обработка металлов резанием: Справочник технолога / Под общ. ред. Панова А. А. М., 1988.
4. Старец А. С., Липтуга И. В., Кракиновский А. С. и др. Повышение гибкости производства за счет автоматизации технологического проектирования // Автоматизированные системы управления и применения вычислительной техники. М., 1985.
5. Лопушенко В. В. Методические указания к практическим занятиям и лабораторным работам по курсу «САПР технологических процессов, инструментов и станков». Львов, 1988.
6. Азбель В. О., Егоров В. А., Звоницкий А. Ю. и др. Гибкое автоматическое производство / Под ред. Майорова С. А., Орловского Г. В., Халкиопова С. Н. 2-е изд., перераб. и доп. Л., 1985.

## МАТЕМАТИЧНЕ МОДЕЛЮВАННЯ ГНУЧКИХ ВИРОБНИЧИХ СИСТЕМ

Математичне моделювання ГВС полягає в розробці системи моделей, які дають змогу формалізувати процес встановлення складу і взаєморозміщення структурних елементів гнучких систем так, щоб при цьому були реалізовані такі принципи проектування:

— принцип мінімуму витрат на комплектування та експлуатацію обладнання ГВС;

— принцип максимального завантаження всіх структурних ланок ГВС (верстатів, промислових роботів, АТСС тощо);

— принцип забезпечення найбільшої зручності обслуговування гнучких виробничих модулів або робототехнічних комплексів, що комплектують ГВС, і дотримання норм і правил безпечної їх експлуатації (ГОСТ 122, 72-82);

— принцип інваріантності, що полягає у виборі структури ГВС, на якій здійснюється обробка широкої номенклатури деталей з найменшими переналадками обладнання.

### 4.1. Математичне моделювання гнучких виробничих модулів

Для забезпечення принципу інваріантності при проектуванні структурно-компоновочних рішень ГВМ і РТК доцільно побудувати узагальнений граф технологічних маршрутів обробки деталей класифікаційного ряду.

Графова модель одиничного технологічного маршруту обробки деталі інтерпретується неметричним сітьовим графом  $\chi_i = (B_m; H_m)$ , в якому  $\{B_m\}_i$  — множина вершин графа, що інтерпретують технологічні операції;  $\{H_m\}_i$  — множина зважених ребер, що формалізують транспортні зв'язки між окремими операціями  $\{b_m\}_i$ . Ваги вершин визначаються трудомісткістю виконання  $b_{mi}$ -ї деталеоперації ( $m = \overline{1, M}$ ) —  $T_{mi}$ . Вершини графа повинні утворювати матрицю, рядки якої належать до певного типу основного технологічного обладнання  $x_j \in \{X_F\}$ , а стовпчики — до певних технологічних операцій обробки (зростання порядкових номерів стовпчиків і рядків матриці відповідає більш пізньому

виконанню відповідних операцій на відповідному обладнанні, згідно з технологічним маршрутом обробки  $i$ -ї деталі ( $d_i$ ). Порядок розміщення обладнання повинен відповідати предметній формі спеціалізації виробничої структури у випадку побудови ГВС у вигляді гнучкої дільниці (ГАД), або технологічній формі спеціалізації у випадку побудови ГВС у вигляді гнучкої автоматизованої лінії (ГАЛ).

Графова модель узагальненого технологічного маршруту обробки всієї номенклатури деталей наводиться у вигляді орієнтованого сітьового графа  $\chi(B_M; H_M)$ , причому  $\chi = \sum_{i=1}^I \chi_i$ .

$$\text{Ваги вершини графа } \chi \text{ визначаються як } \frac{\sum_{i=1}^I T_{\text{mix}} \cdot P_i}{\sum_{i=1}^I P_i},$$

де  $P_i$  — величина програми випуску  $i$ -ї деталі ( $i = \overline{1, I}$ );  $T_{\text{mix}}$  — трудомісткість виконання  $m$ -ї деталесперації на  $x$ -му верстаті ( $x = \overline{1, X}$ ). Множина зважених дуг  $H_M = \{h_m\}$  ( $m = \overline{1, M}$ ) являє собою технологічні транспортні зв'язки між вершинами — операціями. Для формалізації інформації про транспортні операції доцільно визначити середньостатистичні величини ваг дуг  $h_m$ , що інтерпретують зв'язок вершини  $m$  з вершиною  $(m+n)$  як

$$\frac{\sum_{i=1}^I \sum_{m=1}^M \sum_{n=1}^{M-m} (T_{\text{timn}} \cdot P_i \cdot \beta_{m(m+n)}) / N_{1i}}{\sum_{i=1}^I \left[ \sum_{m=1}^M \sum_{n=1}^{M-m} (\beta_{m(m+n)} \cdot P_i) \right]}$$

де  $T_{\text{timn}}$  — час транспортування касети з деталями і з  $m$ -ї позиції ( $m = \overline{1, M}$ ) (склад; верстат) до  $(m+n)$ -ї позиції ( $m = \overline{1, M}$ ;  $n = \overline{1, (M-m)}$ );

$N_{1i}$  — кількість  $i$ -х деталей, що транспортуються одночасно (місткість касети);

$\beta_{m(m+n)} = 1$ , якщо технологічний маршрут обробки  $i$ -ї деталі передбачає виконання  $(m+n)$ -ї операції (механообробки або складування) слідом за  $m$ -тою;

$\beta_{m(m+n)} = 0$ , у протилежному випадку.

У найбільш загальному вигляді такий граф наведений на рис. 4.1.

Формування складу ГВМ (або РТК) слід проводити так, щоб у вершини графа, що відповідають обладнанню, яке входить до складу даного ГВМ, входили тільки дуги, що виходять з вершин, також включених у цю групу, або з вершин, об'єднаних у попередню групу, в якій операції виконувалися би на технологічному

обладнанні раніше, ніж операції на верстатах даного ГВМ. Таким чином, ця процедура формально зводиться до розтину графа  $\chi$  на підграфи  $\chi_l = (B_{Ml}; H_{Ml})$  ( $l=1, L$ ). Такий розклад графа  $\chi$  визначає канонічну послідовність:

$B_{m_1} \leq B_{(m+1)x_2}$  при  $x_1 \geq x_2$ ;  $x_1, x_2 \in \{X_F\}$ , що і дає змогу дотримуватися одностороннього потоку деталей в межах ГВС.

Ваги розрізаних дуг визначають середньостатистичну трудомісткість транспортних операцій між окремими ГВМ.

Задача формування структури ГВМ поліваріантна і оптимізаційна. З одного боку, з метою зменшення витрат, у склад кожного ГВМ слід включити якнайбільше обладнання, що обслуго-

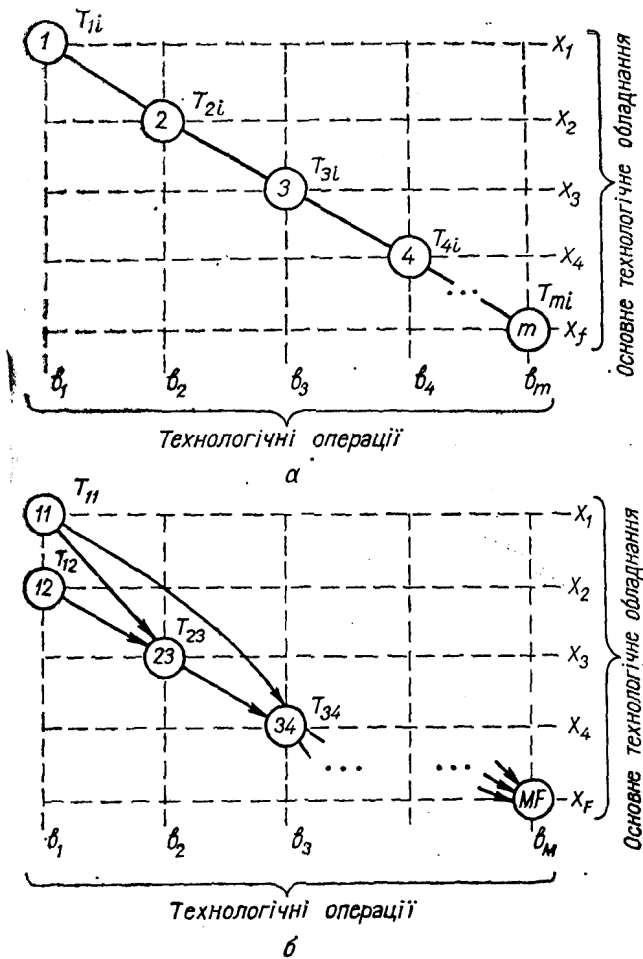


Рис. 4.1. Неметричний граф одиничного технологічного маршруту (а) і орієнтований сітвовий граф (б), що інтерпретує узагальнений маршрут обробки на ГАД класифікаційного ряду деталей.

уватиметься одним промисловим роботом, трансманіпулятором тощо. З іншого боку, кількість одиниць допоміжного обладнання повинна бути такою, щоб до мінімуму скоротити несуміщений допоміжний час. Це досягається в результаті вирішення дворівневої оптимізаційної задачі. На першому етапі критерієм повинно служити найбільш повне завантаження основного технологічного обладнання ГВМ. На другому етапі вирішується задача вибору оптимального варіанта ГВМ з числа конкурентоспроможних за критерієм мінімуму економічних витрат.

В умовах недетермінованого багатонаменклатурного виробництва наявність великого числа технологічних маршрутів викликає важкопрогнозоване коливання часу обробки деталей і обслуговування верстатів роботами та іншим допоміжним обладнанням ГВМ. Це призводить до нерегулярності часу виконання замовлень, яке, в свою чергу, викликає значні простої основного та допоміжного технологічного обладнання. Тому на цьому етапі найбільш доцільно використати положення теорії масового обслуговування, яке дає змогу встановлювати статистичні значення завантаження обладнання і на цій основі вирішувати оптимізаційну задачу.

Характер замовлень і процес обслуговування верстатів промисловим роботом або іншим допоміжним обладнанням ГВМ відповідає марковському процесу [2]. Це означає, що випадковий виклик замовлення на обслуговування у певний момент часу не залежить від попередніх замовлень, тобто від перебігу процесу в попередній період. Завантаження одноканальної системи масового обслуговування (СМО) з пуассонівським вхідним потоком визначається таким чином [2, 10, 16]:

$$\rho = \frac{\lambda}{\mu},$$

де  $\lambda = \frac{1}{X_e} \sum_{x=1} T_{Цx}$  — інтенсивність вхідного потоку ( $T_{Ц}$  — середньостатистична трудомісткість обробки деталей на  $x$ -му верстаті);  $\mu =$

$\frac{X_l}{\sum_{x=1} T_{Обx}}$  — інтенсивність обслуговування верстатів  $l$ -го ГВМ з до-  
помогою промислового робота (ПР) ( $T_{Обx}$  — середньостатистичний час обслуговування верстата;  $X_l$  — кількість верстатів в  $l$ -му ГВМ).

Середній час обслуговування роботом одного верстата в  $l$ -му ГВМ:

$$T_{Обl} = 2t_3 + t_{Оз} + \frac{S_t}{V},$$

де  $t_3$  — час завантаження (вивантаження) деталі з децентралізованого накопичувача (тактового стола, касети і т. п.) або у

нього;  $t_{03}$  — час зняття (встановлення) заготовки на верстаті;  $S_t$  — середня відстань між децентралізованим накопичувачем і верстатом;  $V$  — швидкість переміщення руки ПР. Розглянемо ГВМ як замкнуту систему масового обслуговування (СМО), що складається з прилада (промислового робота), який здійснює обслуговування об'єктів (верстатів), причому один робот може одночасно виконувати тільки одну вимогу. Час обслуговування однієї вимоги є випадковою з функцією розподілу [5, 15]:  $F(t) = 1 - e^{-\mu t}$ .

Позначимо через  $P_x(t)$  ймовірність того, що система знаходиться в стані  $x$ , тобто ймовірність того, що в системі у момент часу  $t$  знаходиться на обслуговуванні і в черзі  $x$  вимог ( $x=1, X_l$ ). Звичайно, що черга не виникає при  $x \leq 1$ . Такий стан, згідно з основними положеннями теорії масового обслуговування [3], визначається за формулою

$$P_0 = \left( 1 + \frac{\rho_e^{x_e}}{(1 - \rho_l)} \right)^{-1},$$

де

$$\rho_e = \frac{\sum_{x=1}^{X_e} (t_{\text{об}x_e} + H_{x_e} \cdot N_1 \cdot \gamma_{x_e})}{\sum_{x=1}^{X_e} B_{x_e} \cdot \gamma_{x_e}},$$

де  $B_{x_l}$  — вага вершини  $x$  графа  $\chi_l$  (середньостатистична трудомісткість обробки деталей, закріплених за  $x$ -м верстатом, що включений у склад  $l$ -го ГВМ);  $H_{x_l}$  — вага нерозрізаних дуг графа  $\chi_l$  (середньостатистична трудомісткість транспортування роботом деталі з  $x$ -го до  $(x+1)$ -го верстата, також включеного в склад  $l$ -го ГВМ);  $N_1$  — ємність касети з деталями;  $\gamma_{x_l} = 1$ , якщо  $x$ -й верстат включений в склад  $l$ -го ГВМ;  $\gamma_{x_l} = 0$  у протилежному випадку.

Для одноканальної СМО з експоненційним обслуговуванням і пуассонівським входним потоком ймовірності того, що простояє  $(x+1)$  верстатів, які входять до складу  $l$ -го ГВМ, становить:

$$P_{(x+1)} = (X_l - x) \cdot \rho \cdot P_x \text{ при } x=1, \bar{X}_l.$$

Знаючи ймовірність  $P_x(x=0, \bar{X}_l)$ , можна вирахувати середню довжину черги

$$D_1 = \sum_{x=1}^{X_e} (x-1) \cdot P_x.$$

Середнє число верстатів, що обслуговуються і чекають обслуговування, визначається як

$$D_2 = \sum_{x=1}^{X_e} x \cdot P_x.$$

Ймовірність того, що ПР в  $l$ -му ГВМ у довільний момент часу буде простоювати,  $D_3 = P_0$ .

Звідси коефіцієнт простою основного технологічного обладнання внаслідок багатопозиційного обслуговування верстатів роботом визначається як

$$k_3 = \frac{D_1}{X_e} \frac{1}{X_e} \sum_{x=1}^{X_e} (x-1) \cdot P_x.$$

Коефіцієнт завантаження верстатів \*

$$k_c = 1 - \frac{D_2}{X_l} = 1 - \frac{1}{X_l} \sum_{x=1}^{X_l} (x \cdot P_x).$$

Коефіцієнт завантаження ПР

$$k_p = 1 - D_3 = 1 - P_0.$$

Оптимальне завантаження обладнання ГВМ буде у випадку

$$k_c \rightarrow \max.$$

На рис. 4.2 показані графіки завантаженості основного технологічного обладнання і допоміжного обладнання (ПР тощо) ГВМ залежно від кількості верстатів  $X_l$  і співвідношення інтенсивності вхідного потоку та інтенсивності обслуговування роботом технологічного обладнання  $\rho$ .

Для всієї ГВС, що складається з  $L$  ГВМ, середньостатистичні коефіцієнти завантаження обладнання

$$\begin{cases} k_c = \sum_{l=1}^L k_{c_l} \cdot k'_{pl} \\ k_p = \sum_{l=1}^L k_{p_l} \cdot k'_{pl} \end{cases}$$

де  $k'_{ps}$  — приведений коефіцієнт пріоритету  $l$ -го ГВМ.

Коефіцієнт пріоритету  $l$ -го ГВМ

$$k_{pl} = A_l \cdot B_l,$$

де  $A_l$  — питома верстатоемність деталей, що підлягають обробці на обладнанні  $l$ -го ГВМ:

$$A_l = \frac{\sum_{i=1}^I \sum_{m=1}^M \sum_{x=1}^{X_l} \cdot T_{im} \cdot \alpha_{im} \cdot \beta_{mx} \cdot \gamma_{xl}}{\sum_{i=1}^I \sum_{m=1}^M T_{im}},$$

\* У даному випадку коефіцієнти завантаження ГВМ розраховують без врахування втрат часу на технічне обслуговування, ремонт тощо, а також без врахування часу на несуміщене міжопераційне транспортування деталей між ГВС і автоматизованим складом, оскільки ці величини не впливають на вибір альтернативних варіантів рішення задачі на даному етапі.

де  $T_{im}$  — трудомісткість виконання  $b_{mi}$  деталей операції;  $a_{im}=1$ , якщо технологічний маршрут  $d_{ti}$  обробки  $i$ -ї деталі включає в себе  $b_m$  операцію;  $a_{im}=0$ , у протилежному випадку;  $\beta_{mx}=1$ , якщо  $\beta_m=1$ , якщо технологічна операція виконується на  $x$ -му верстаті;  $\beta_{mx}=0$ , у протилежному випадку;  $\gamma_{xl}=1$ , якщо  $x$ -й верстат включений у склад  $l$ -го ГВМ;  $\gamma_{xl}=0$ , у протилежному випадку;  $B_l$  — питома вага деталей, що обробляються на  $l$ -му ГВМ:

$$B_l = \frac{\sum_{i=1}^I \sum_{x=1}^{X_l} P_{ix} \cdot \gamma_{xl}}{\sum_{i=1}^I P_i},$$

$P_{ix}$  — програма випуску деталі  $i$ , що підлягає обробці на  $x$ -му верстаті.

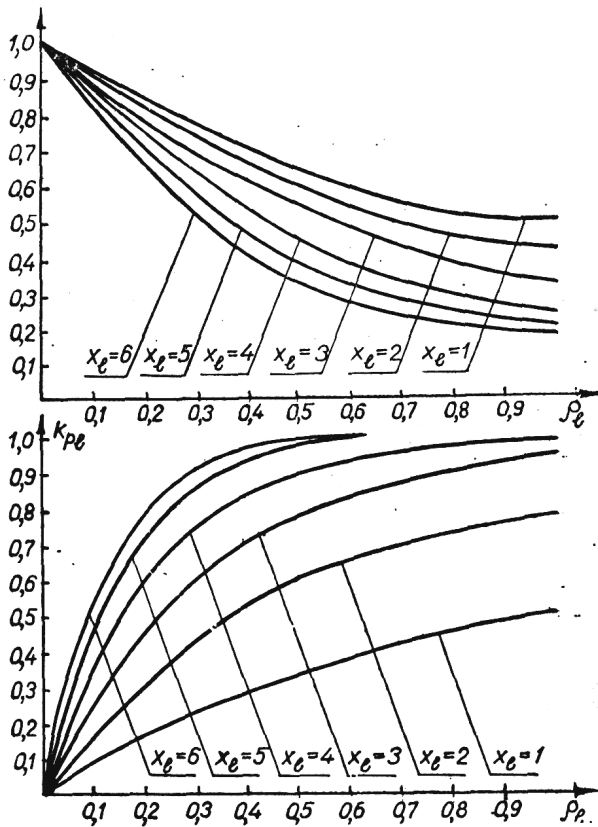


Рис. 4.2. Графіки залежності коефіцієнтів завантаження основного технологічного обладнання ( $k_a$ ) і допоміжного обладнання (промисловий робот) ( $k_p$ ) від завантаження СМО ( $\rho$ ) і кількості верстатів ( $x$ ) в  $l$ -му РТК.



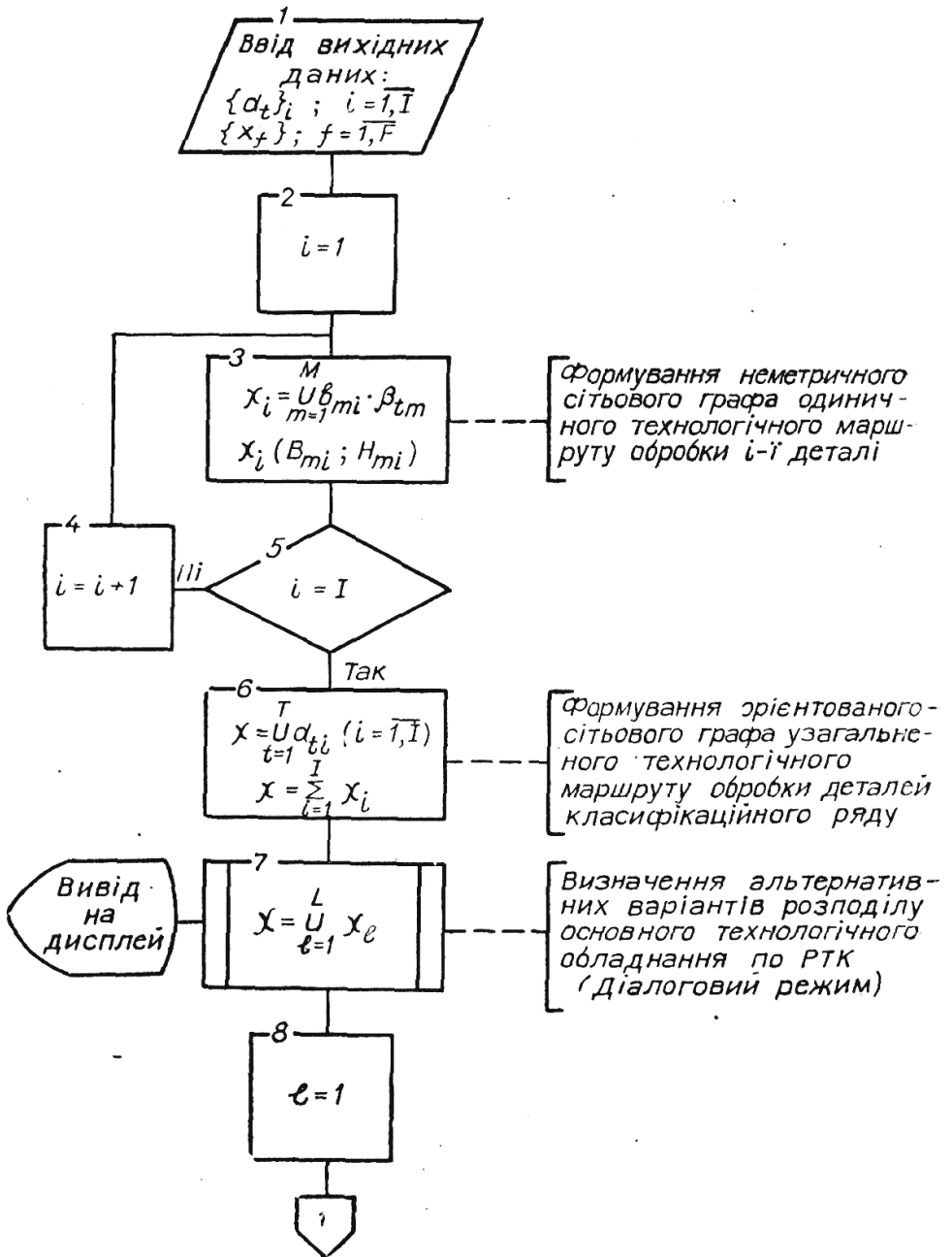


Рис. 4.3.

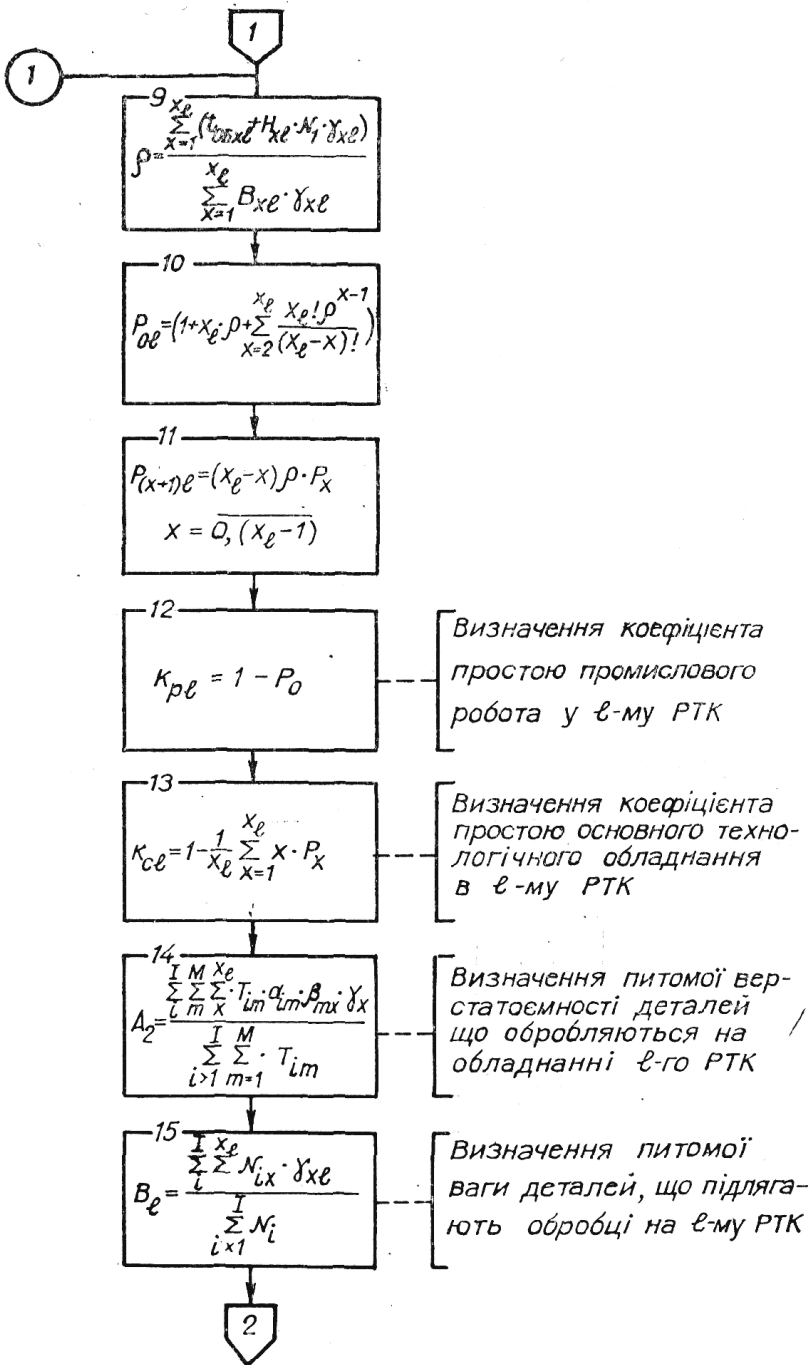


Рис. 4.3. Блок-схема алгоритму визначення оптимальних структурно-компоновочних рішень РТК.

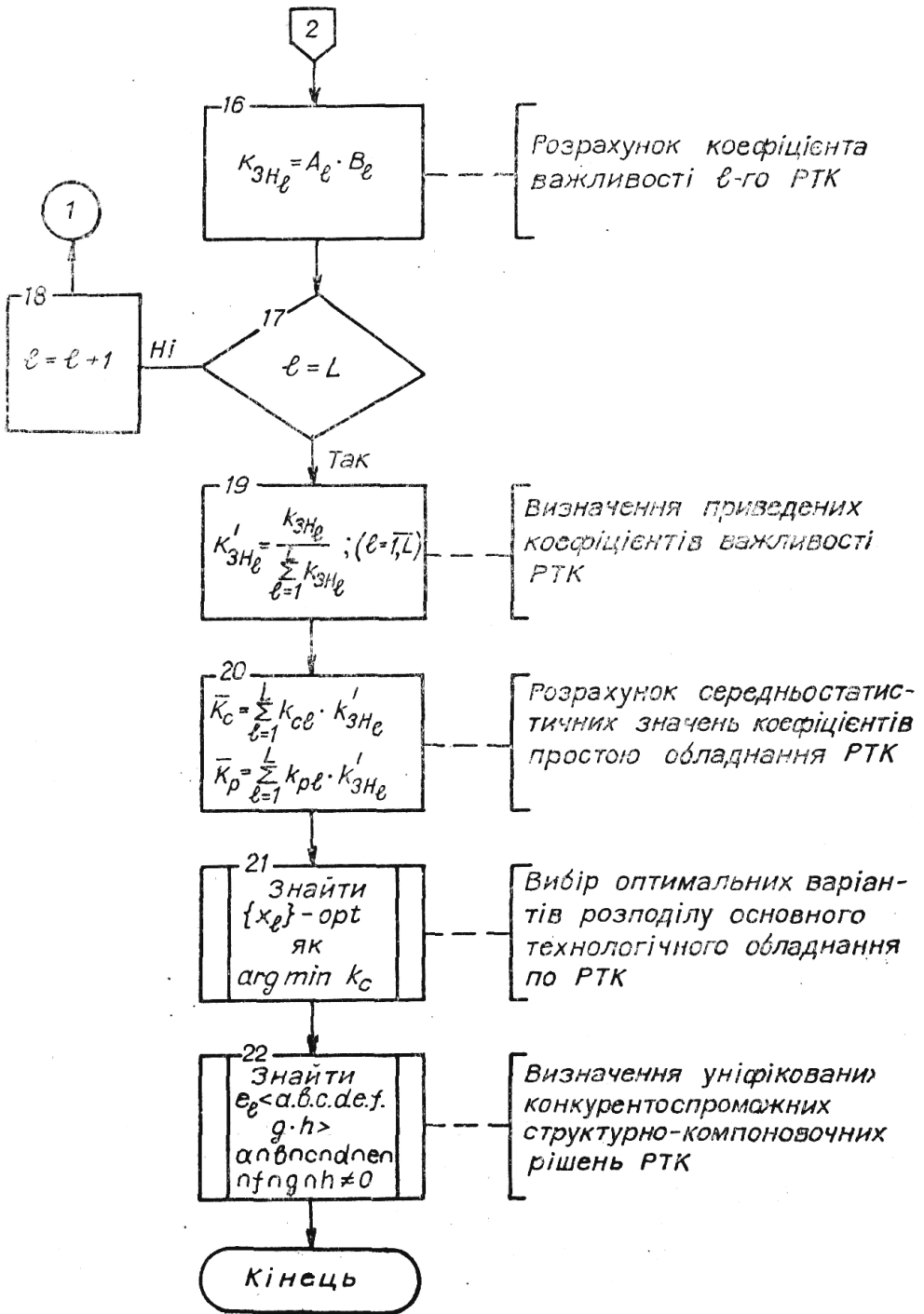


Рис. 4.3

Для виконання умови

$$\sum_{l=1}^L k_{\Pi l} = 1$$

слід при розрахунку середньостатистичних значень коефіцієнтів завантаження обладнання ГВС використати приведені коефіцієнти пріоритету ГВМ  $k'_{\Pi l}$ :

$$k'_{\Pi l} = \frac{k_{\Pi l}}{\sum_{l=1}^L k_{\Pi l}} \quad (l = \overline{1, L}),$$

Крім варіантів, що забезпечують оптимальне завантаження обладнання ГВМ, конкурентоспроможними варіантами повинні бути такі, для яких коефіцієнт завантаження основного технологічного обладнання не нижчий 0,75.

Блок-схема алгоритму розв'язання задачі в автоматизованому режимі зображена на рис. 4.3.

## 4.2. Вибір компоновочних рішень ГВМ обробки деталей типу «тіла обертання»

Аналіз компоновочних рішень гнучких виробничих модулів і робототехнічних комплексів обробки деталей типу «тіла обертання» [1, 2, 4, 9, 11, 13] показав, що всю різноманітність структурних варіантів ГВС і РТК можна класифікувати за деякою сукупністю ознак, що найбільш повно описують будь-яке альтернативне рішення структури і взаєморозміщення елементів РТК.

Компоновочні рішення класифікуються за (рис. 4.4):

— схемою розміщення технологічного обладнання;

— типом обладнання, що обслуговується;

— типом промислових роботів;

— типом децентралізованого накопичувача;

— кількістю одиниць основного технологічного обладнання в складі ГВМ (РТК);

— принципом спряження з транспортною системою ГВС.

Варіант компоновочного рішення може бути представлений як кортеж  $\langle a, b, c, d, e, f, g, h \rangle$ .

Матриця суміжності класифікаційних ознак наведена в табл. 4.1. Варіант компоновки ГВМ є альтернативним при дотриманні умови:  $a \cdot b \cdot c \cdot d \cdot e \cdot f \cdot g \cdot h \neq 0$ .

На рис. 4.5 представлені приклади компоновочних рішень ГВМ і їх позначення згідно з класифікаційною схемою.

При багатопозиційному обслуговуванні верстатів роботом в РТК необхідно встановити можливість конструкторської реалізації проекту. Для рішення цієї задачі слід побудувати математичну модель, що полягає в системі лінійних обмежень, які вра-

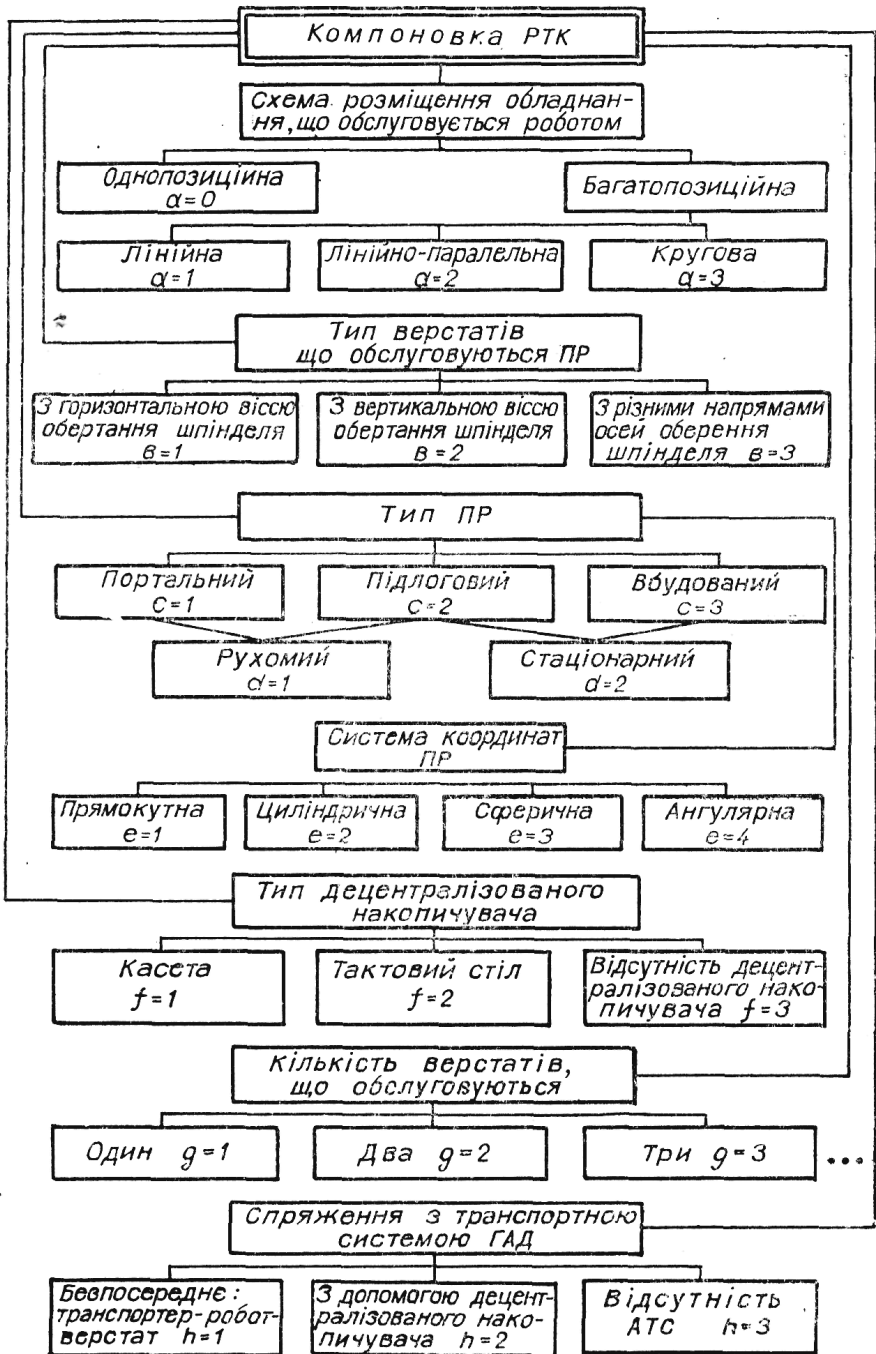


Рис. 4.4. Класифікаційна схема уніфікованих структурно-компоновочних рішень РТК, що комплектують ГАД.



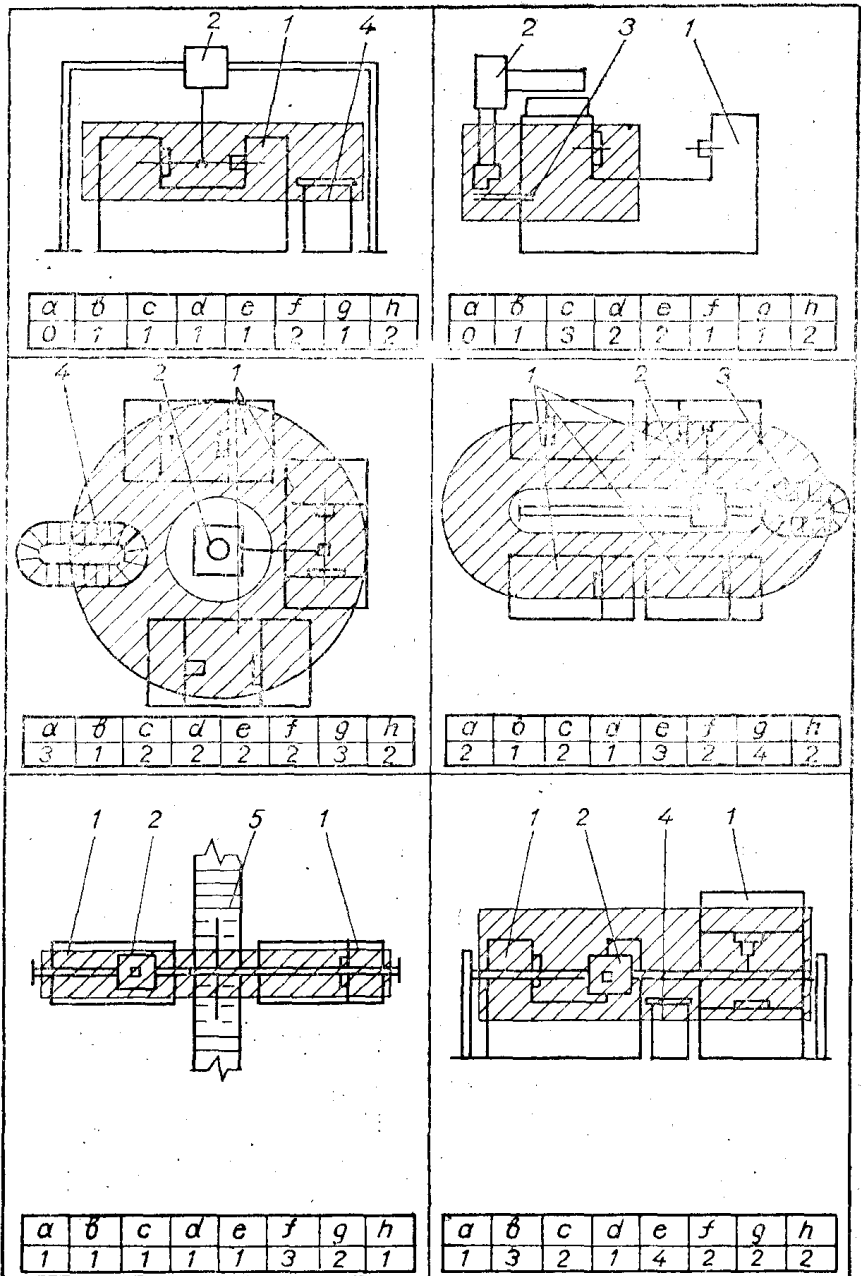


Рис. 4.5. Приклади класифікації структурно-компоновочних рішень

РТК:

1 — основне технологічне обладнання; 2 — промисловий робот; 3 — приверстатний (децентралізований) накопичувач деталей; 4 — позиція завантаження ПР; 5 — міжопераційна транспортна система.

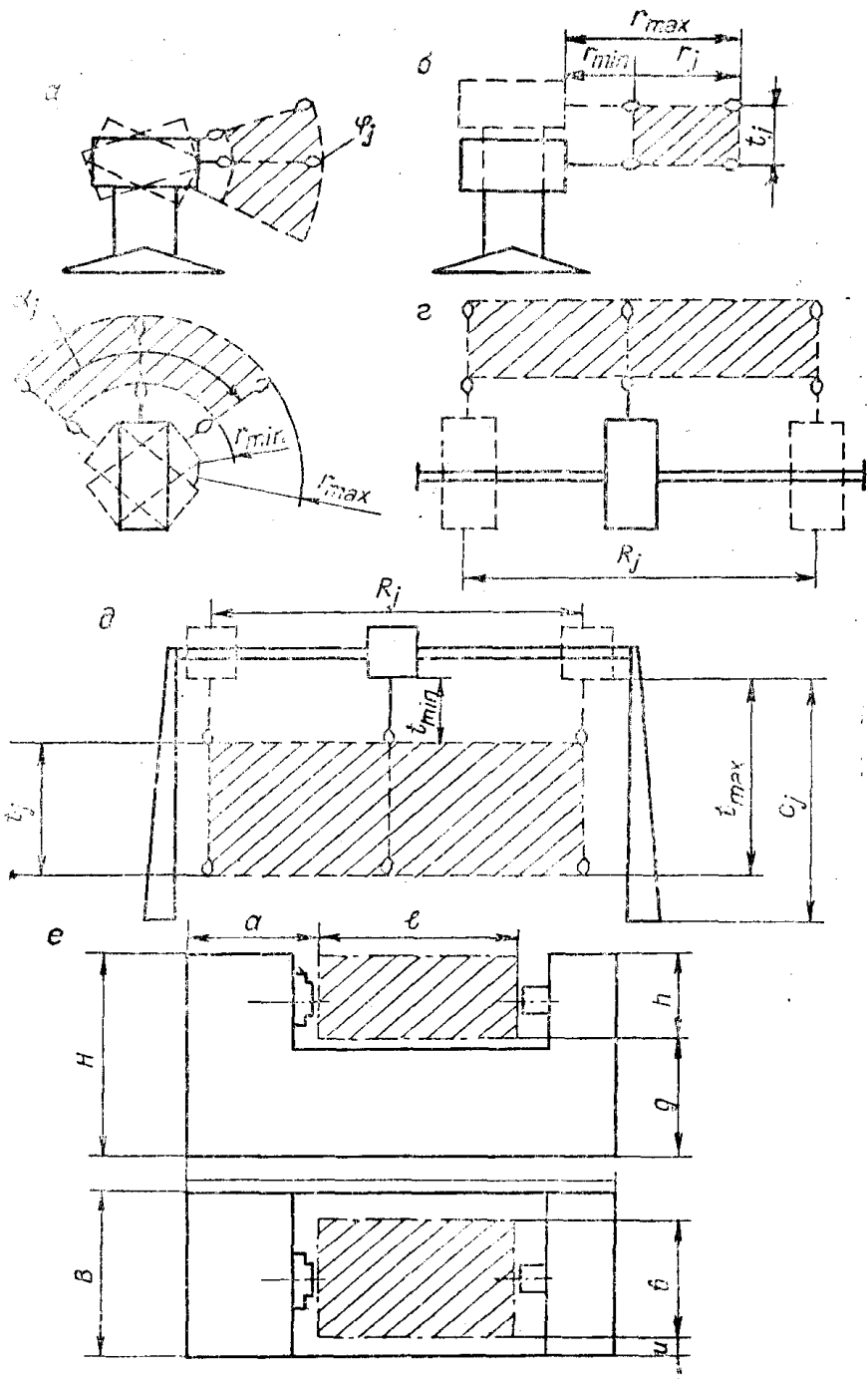


Рис. 4.6. Основні розміри і конструктивні характеристики ПР (а—д) і технологічного обладнання (е).



ховують можливість обслуговування ПР основного і допоміжного обладнання ГВМ.

Вхідними даними повинен бути формалізований опис основних конструктивних і розмірних характеристик промислових роботів і обладнання, що ними обслуговується. Для підлогових ПР ці характеристики такі (рис. 4.6):

$r_{\max j}$  — максимальна довжина вильоту руки робота;

$r_{\min j}$  — мінімальна довжина вильоту руки робота;

$$r_j = r_{\max j} - r_{\min j},$$

де  $\alpha_j$  — кут повороту руки робота;  $\varphi_j$  — кут коливання у вертикальній площині;  $t_j$  — висота підйому маніпулятора;  $R_j$  — максимальна довжина переміщення рухомого ПР.

Для порталних ПР:

$t_{\min j}$ ,  $t_{\max j}$  — мінімальний і максимальний вильоти руки робота

$$\text{Відповідно. } t_j = t_{\max j} - t_{\min j};$$

$R_j$  — довжина переміщення ПР;  $B_j$  — вантажність ПР.

Для основного і допоміжного обладнання такими конструктивними характеристиками будуть (рис. 4.6, в): габаритні розміри обладнання  $L \times B \times H$  і розміри робочих зон — зон маніпулювання руки робота для встановлення—зняття деталі  $l \times b \times h$ .

У загальному вигляді така модель належить до геометричних моделей розв'язання задачі площинного розміщення і може бути записана так:

$$\sum_{k=1}^K \sum_{m=1}^M \sum_{p=1}^P \sum_{x=1}^X L_{об} \leq L_j; \quad (1)$$

$$[(u+b)_{x,h,m}] \leq r_j; \quad (2)$$

$$h_{x,h,m} \leq t_j; \quad (3)$$

$$\max] (g+h)_{x,h,m} [-\min] g_{x,h,m} [\leq t_j; \quad (4)$$

$$\min] g_{x,h,m} [\geq C - t_{\max}; \quad (5)$$

$$\max] H_{x,h,m} [\leq C - t_{\min}; \quad (6)$$

$$\max] B_i [\leq B_j; \quad (7)$$

$$\min] \Delta_{ix} [\geq \Delta_j. \quad (8)$$

Обмеження (1)—(8) складають такі вимоги:

- (1) — габаритні розміри обладнання повинні забезпечувати можливість обслуговування його роботом  $j$ ;
- (2)—(3) — робочі зони обладнання не повинні перевищувати розмірів зони сервісу ПР;
- (2) — у горизонтальній площині;
- (3) — у вертикальній площині;
- (4)—(5) — зона сервісу робота повинна забезпечувати обслуговування робочих зон різного обладнання, що входить до складу РТК по граничних значеннях параметрів  $g$  і  $h$ ;

Класифікаційні ознаки структурно-компонентних рішень РТК

$a=0,1; \theta=1$	$a=0,1; \theta=1$	$a=2; \theta=2; d=1$	$a=3; \theta=2; \alpha=2$
<p>Правило 1</p> $\sum_{k=1}^K L_k \cdot \psi_k + \sum_{m=1}^M L_m \cdot \varphi_m + \sum_{p=1}^P L_p \cdot \varphi_p + \sum_{x=1}^X L_x \cdot \psi_x \leq R_{jl} \cdot \xi_{jl} (1 - \xi_{jl})$	$\sum_{k=1}^K L_k \cdot \psi_k + \sum_{m=1}^M L_m \cdot \varphi_m + \sum_{p=1}^P L_p \cdot \varphi_p + \sum_{x=1}^X L_x \cdot \psi_x \leq R_{jl} \cdot \xi_{jl} (1 - \xi_{jl})$	$\sum_{k=1}^K L_k \cdot \psi_k + \sum_{m=1}^M L_m \cdot \varphi_m + \sum_{p=1}^P L_p \cdot \varphi_p + \sum_{x=1}^X L_x \cdot \psi_x \leq R_{jl} \cdot \xi_{jl} (1 - \xi_{jl})$	$\sum_{k=1}^K L_k \cdot \psi_k + \sum_{m=1}^M L_m \cdot \varphi_m + \sum_{p=1}^P L_p \cdot \varphi_p + \sum_{x=1}^X L_x \cdot \psi_x + \sum_{j=1}^J L_j \cdot \varphi_j + \sum_{i=1}^I L_i \cdot \psi_i \leq R_{jl} \cdot \xi_{jl} (1 - \xi_{jl})$
<p>Правило 2</p>	$\begin{cases} (L + \theta)_{K'} \leq r_{jl} (1 - \xi_{jl}); \\ (L + \theta)_{M'} \leq r_{jl} (1 - \xi_{jl}); \\ (L + \theta)_{X'} \leq r_{jl} (1 - \xi_{jl}); \end{cases}$	$\begin{cases} \kappa = \overline{1, K}; \\ m = \overline{1, M}; \\ x = \overline{1, X_2}. \end{cases}$	$\begin{cases} \kappa = \overline{1, K}; \\ m = \overline{1, M}; \\ x = \overline{1, X_2}. \end{cases}$
<p>Правило 3</p>	$\begin{cases} h_{\kappa} \leq t_{jl} \cdot \xi_{jl} \cdot \varphi_{jl} \cdot \varphi_{\kappa} \cdot \varphi_{jl} \cdot \varphi_{\kappa}; \kappa = \overline{1, K} \\ h_{m} \leq t_{jl} \cdot \xi_{jl} \cdot \varphi_{jl} \cdot \varphi_{m} \cdot \varphi_{jl} \cdot \varphi_{m}; m = \overline{1, M} \\ h_x \leq t_{jl} \cdot \xi_{jl} \cdot \varphi_{jl} \cdot \varphi_x \cdot \varphi_{jl} \cdot \varphi_x; x = \overline{1, X_2} \end{cases}$	$\begin{cases} h_{\kappa} \leq r_{minj} \cdot \varphi_{jl} \cdot \varphi_{\kappa} \cdot \varphi_{jl} + t_{jl} \cdot \varphi_{\kappa} \cdot \varphi_{jl} \cdot \varphi_{jl}; \kappa = \overline{1, K}; \\ h_m \leq r_{minj} \cdot \varphi_{jl} \cdot \varphi_m \cdot \varphi_{jl} + t_{jl} \cdot \varphi_m \cdot \varphi_{jl} \cdot \varphi_{jl}; m = \overline{1, M}; \\ h_x \leq r_{minj} \cdot \varphi_{jl} \cdot \varphi_x \cdot \varphi_{jl} \cdot \varphi_{jl} \cdot \varphi_{jl}; x = \overline{1, X_2}. \end{cases}$	$\begin{cases} h_{\kappa} \leq r_{minj} \cdot \varphi_{jl} \cdot \varphi_{\kappa} \cdot \varphi_{jl} + t_{jl} \cdot \varphi_{\kappa} \cdot \varphi_{jl} \cdot \varphi_{jl}; \kappa = \overline{1, K}; \\ h_m \leq r_{minj} \cdot \varphi_{jl} \cdot \varphi_m \cdot \varphi_{jl} + t_{jl} \cdot \varphi_m \cdot \varphi_{jl} \cdot \varphi_{jl}; m = \overline{1, M}; \\ h_x \leq r_{minj} \cdot \varphi_{jl} \cdot \varphi_x \cdot \varphi_{jl} \cdot \varphi_{jl} \cdot \varphi_{jl}; x = \overline{1, X_2}. \end{cases}$
<p>Правило 4</p>	$\max_j (g + h)_{x, \kappa, m} \leq \min_j g_{x, \kappa, m} \leq r_{min} \cdot \varphi_{\kappa} \cdot \varphi_x \cdot \varphi_m + t_{jl} \cdot \varphi_{jl}$	$\max_j (g + h)_{x, \kappa, m} \leq \min_j g_{x, \kappa, m} \leq r_{min} \cdot \varphi_{\kappa} \cdot \varphi_x \cdot \varphi_m + t_{jl} \cdot \varphi_{jl}$	$\max_j (g + h)_{x, \kappa, m} \leq \min_j g_{x, \kappa, m} \leq r_{min} \cdot \varphi_{\kappa} \cdot \varphi_x \cdot \varphi_m + t_{jl} \cdot \varphi_{jl}$
<p>Правило 5</p>	$\min_j g_{x, \kappa, m} \geq (c_j - r_{max}) \cdot \xi_{jl}$	$\min_j g_{x, \kappa, m} \geq (c_j - r_{max}) \cdot \xi_{jl}$	$\min_j g_{x, \kappa, m} \geq (c_j - r_{max}) \cdot \xi_{jl}$
<p>Правило 6</p>	$\max_j H_{x, \kappa, m} \leq (c_j - t_{minj}) \cdot \xi_{jl}$	$\max_j H_{x, \kappa, m} \leq (c_j - t_{minj}) \cdot \xi_{jl}$	$\max_j H_{x, \kappa, m} \leq (c_j - t_{minj}) \cdot \xi_{jl}$
<p>Правило 7</p>	$\max_j \beta_j \leq \beta_j; \quad i = \overline{1, I}$	$\max_j \beta_j \leq \beta_j; \quad i = \overline{1, I}$	$\max_j \beta_j \leq \beta_j; \quad i = \overline{1, I}$
	$\min_j \Delta_x \geq \Delta_j; \quad x = \overline{1, X_2}$	$\min_j \Delta_x \geq \Delta_j; \quad x = \overline{1, X_2}$	$\min_j \Delta_x \geq \Delta_j; \quad x = \overline{1, X_2}$

- (6) — габарити основного технологічного обладнання повинні бути такі, щоб гарантувалася можливість обслуговування верстата промисловим роботом порталного типу;
- (7) — максимальна вага деталі, що оброблятиметься на обладнанні ГВС, не повинна перевищувати вантажність ПР;
- (8) — точність позиціювання  $j$ -го ПР не повинна перевищувати граничне значення точності встановлення деталі в затискний пристрій верстата.

Для конкретних структурно-компоновочних рішень РТК загальна математична модель буде інтерпретуватися в формі, що наведена в табл. 4.2. Тут прийняті такі позначення:

- $k = \overline{1, K}$  — число транспортних систем ГВС, що обслуговують РТК (при  $h=1$  за схемою на рис. 4.4).
- $m = \overline{1, M}$  — число децентралізованих накопичувальних пристроїв РТК (при  $h=2$ );
- $p = \overline{1, P}$  — число місць, вільних від обладнання для роботи наладчика і згідно з ГОСТ 122.72—82;
- $x = \overline{1, X_l}$  — число одиниць основного технологічного обладнання в РТК;
- $\xi_j = 1$  — якщо робот стаціонарний ( $\xi = d-1$ );
- $\xi_j = 0$  — у протилежному випадку.
- $\zeta_j = 1$  — якщо робот порталного типу ( $c=1$ );
- $\zeta_j = 0$  — у протилежному випадку ( $c=2, 3$ );
- $\eta_j = 1$  — якщо рука робота має можливість коливатися у вертикальній площині ( $e=3, 4$ );
- $\eta_j = 0$  — у протилежному випадку ( $e=1, 2$ );
- $\Theta_j = 1_x$  — якщо колона маніпулятора підйомна;
- $\Theta_j = 0_x$  — у протилежному випадку;
- $\Psi_l = 1_x$  — якщо  $l$ -й РТК обслуговує хоча б одна транспортна система, безпосередньо сполучена з технологічним обладнанням ( $h=1$ );
- $\Psi_l = 0_x$  — у протилежному випадку.
- $\chi_l = 1$  — якщо  $l$ -й РТК включає в себе хоча б один децентралізований накопичувач деталей ( $t=1,2$ );
- $\chi_l = 0$  — у протилежному випадку.
- $\pi_l = 1$  — якщо для технічного обслуговування і ремонту обладнання  $l$ -го РТК необхідно звільнити місце для роботи наладчика;
- $\pi_l = 0$  — у протилежному випадку.

Слід відзначити, що наведена модель використовується у випадку комплектації РТК промисловим роботом, технологічним обладнанням, які являють собою окремі структурні одиниці. Для ГВМ, що поставляються заводом у комплекті з роботом-автооператором, умонтованим роботом тощо, такі розрахунки не потрібні, оскільки спряження основного і допоміжного обладнання в цьому випадку передбачено конструкцією верстата і ПР.

### 4.3. Математичні моделі проектування структурно-компоновочних рішень ГВС

Компоновочні і структурні рішення гнучких виробничих систем класифікуються за:

- розміщенням транспортних шляхів щодо автоматизованого складу (централізованого накопичувача деталей);
- розміщенням верстатів щодо транспортних шляхів;
- видом транспортної системи;
- кількістю транспортних шляхів;
- кількістю автоматизованих складів.

Класифікаційна схема компоновочних рішень наведена на рис. 4.7. Згідно з прийнятим на схемі позначенням код довільного структурно-компоновочного рішення можна подати у вигляді сукупності уніфікованих ознак:

$$\langle A \cdot B \cdot C \cdot D \cdot E \cdot F \cdot G \rangle$$

У табл. 4.3. наведена матриця варіантів компоновочних рішень ГВС. Таким чином, структура системи може бути технічно реалізована за умови відсутності нульових рішень у матриці суміжності:

$$A \cdot B \cdot C \cdot D \cdot E \cdot F \cdot G \neq 0.$$

Вибір альтернативних варіантів структур ГВС буде проводитися на основі умови:

$$g_s = \left\{ \bigcup_{l=1}^L e_l \mid \varepsilon_{ls} = 1 \right\},$$

де  $g_s$  —  $s$ -е структурно-компоновочне рішення ГВС;  $e_l$  —  $l$ -е структурно-компоновочне рішення ГВМ (РТК),  $\varepsilon_{ls} = 1$ , якщо  $s$ -е компоновочне рішення ГВС не суперечить включенню в його структуру  $l$ -го структурного рішення ГВМ (РТК);  $\varepsilon_{ls} = 0$ , у протилежному випадку.

Матриця, що реалізує зв'язок структурно-компоновочних рішень ГВС і компоновочних рішень ГВМ (РКТ), наведена в табл. 4.4 (див. також рис. 4.8).

Узагальнюючим критерієм при виборі того чи іншого структурно-компоновочного рішення ГВС буде мінімізація трудомісткості виробничого циклу обробки деталей у заданих межах їх номенклатури і кількості:

$$T_{\text{ГВС}} \rightarrow \min$$

Загальну трудомісткість можна подати у вигляді

$$T_{\text{ГВС}} = \sum_{l=1}^L \sum_{i=1}^I \left[ \frac{P_l}{N_{li}} \left( t_{\text{цл}} \cdot \frac{N_{li}}{k_{\text{ти}l}} + \frac{t_{\text{обл}}}{k_{\text{т}}} \right) \cdot a_{li} \right],$$

де  $i = \overline{1, I}$  — номенклатура оброблюваних на ГВС деталей;  $l = \overline{1, L}$  — кількість ГВМ (РТК), що комплектують ГВС;  $P_l$  — про-

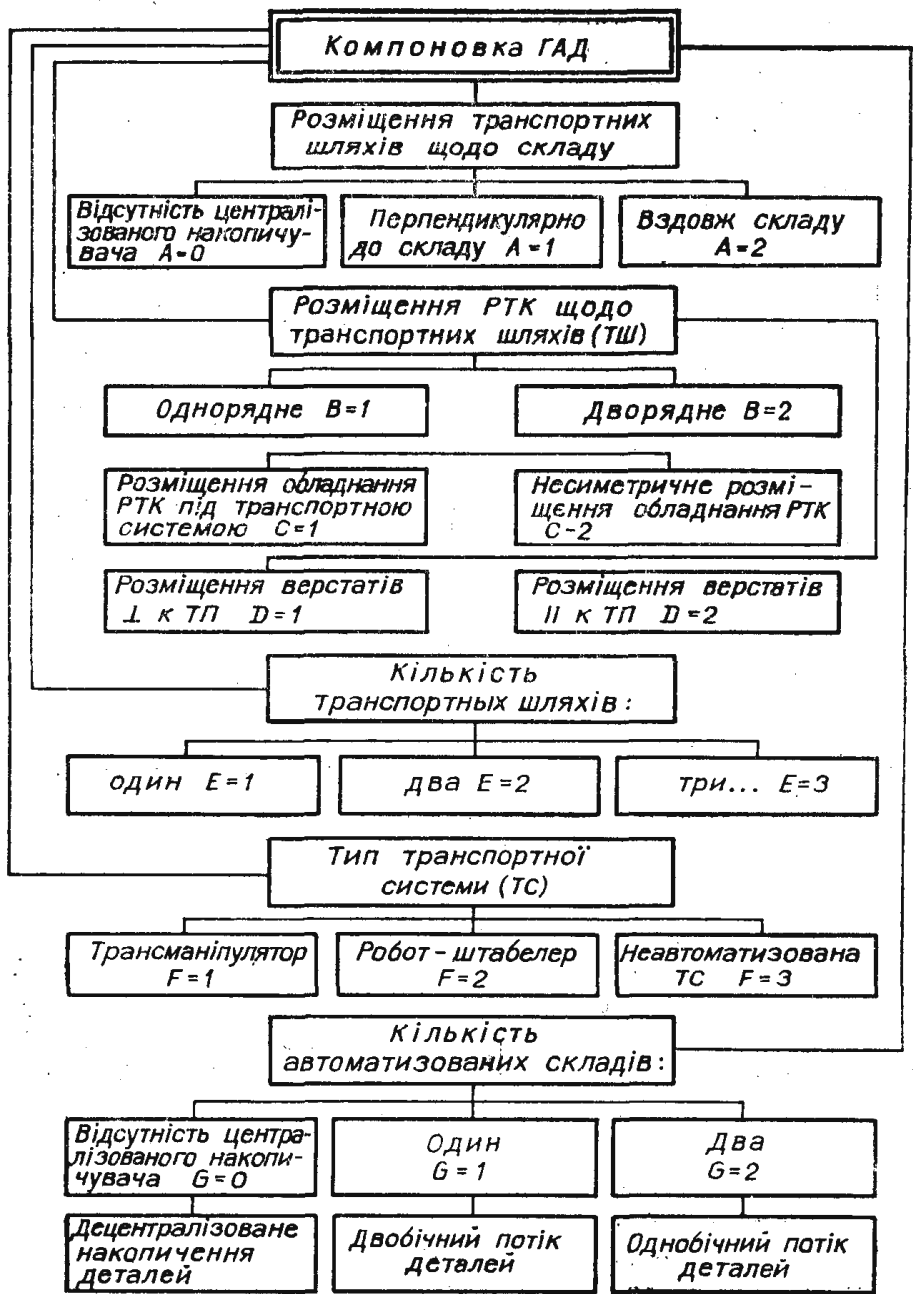


Рис. 4.7. Класифікаційна схема структурно-компоновочних рішень ГАД.

Матриця сумісності класифікаційних ознак  
уніфікованих структурно-компоновочних рішень ГАД

		A			B		C			D		E				F			
		0	1	2	1	2	0	1	2	1	2	1	2	3	3	1	2	3	
B	1	1	1	1															
	2	1	1	0															
C	0	1	1	0	0	1													
	1	1	1	0	1	0													
	2	1	1	1	1	0													
D	1	1	1	1	1	0	0	1	1										
	2	1	1	1	1	1	1	1	1										
E	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1								
	2	1	1	0	1	1	1	1	1	1	1								
	3	1	1	0	1	1	1	1	1	1	1								
	3	1	1	0	1	1	1	1	1	1	1								
F	1	1	1	0	1	1	1	1	1	1	1	1	0	0	0				
	2	0	0	1	1	0	0	0	1	1	1	1	0	0	0				
	3	1	1	1	1	1	1	0	1	1	1	1	1	1	1				
	0	1	0	0	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	0	1
	1	0	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
	2	0	1	0	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	0	1	

Матриця інцидентності класифікаційних ознак  
структурно-компонувочних рішень РТК і ГАД

ГАД	A			B		C			D		E			F			G				
	0	1	2	1	2	0	1	2	1	2	1	2	3	3	1	2	3	0	1	2	
a	0	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
	2	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	0	1	1	1	1	1
	3	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
b	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
	2	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
	3	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
c	1	0	1	1	1	0	0	0	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
	2	1	1	1	1	1	0	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
	3	1	1	1	1	0	0	1	0	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
d	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
	2	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
e	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
	2	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
	3	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
	4	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
f	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
	2	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	0	1	1	1	1	1
	3	1	1	0	1	1	0	1	1	1	1	1	1	1	0	0	1	0	1	1	1
g	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
	2	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
	3	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
	3	1	1	1	1	1	0	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
h	1	0	1	0	1	0	0	1	0	1	1	1	1	1	0	0	1	1	1	1	1
	2	0	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	0	0	1	1	1
	3	1	1	1	1	1	0	1	1	1	1	1	1	1	0	1	1	0	1	0	0

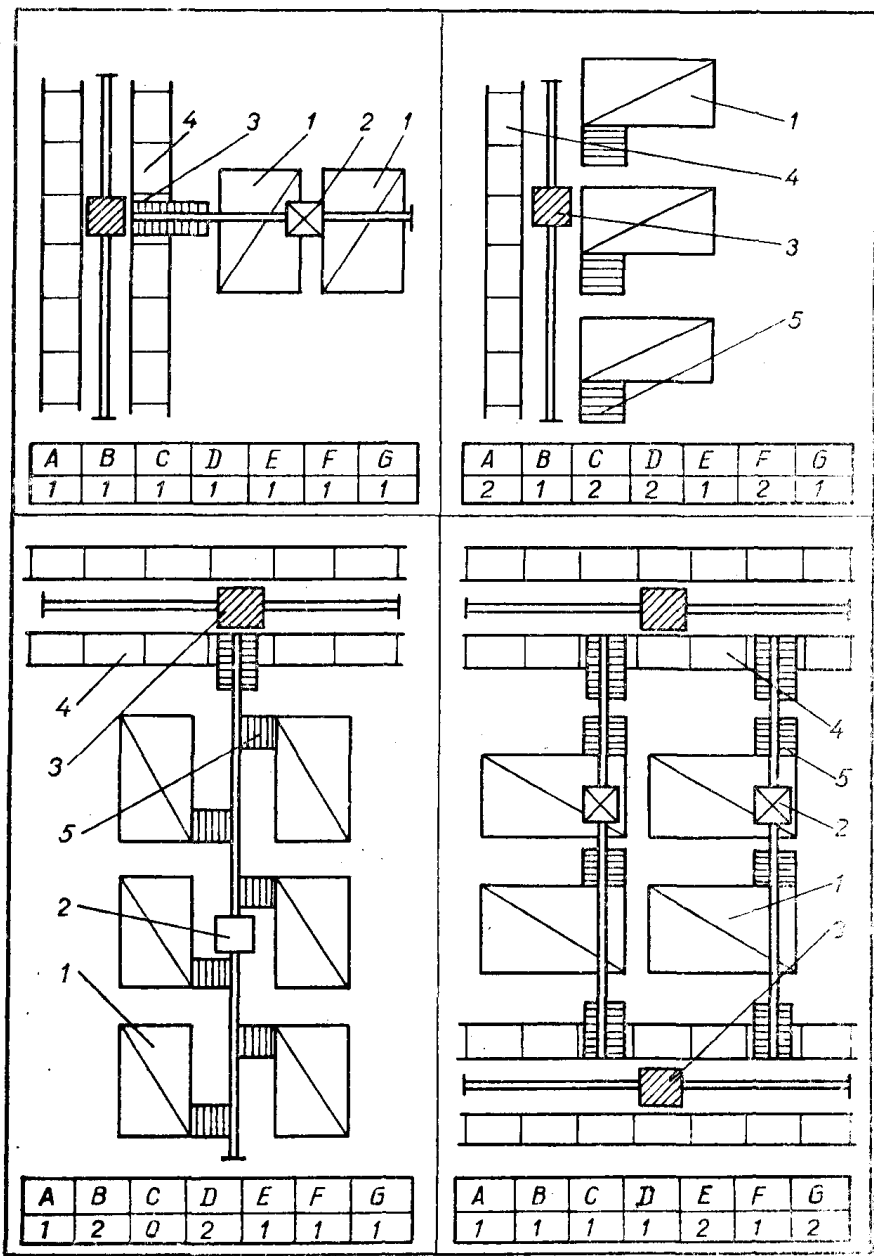


Рис. 4.8. Приклади класифікації структурно-компонентних рішень ГАС:  
 1 — ГВМ (або РТК); 2 — транспортна система ГАС; 3 — робот-штабелер;  
 4 — позиції автоматизованого складу; 5 — децентралізовані накопичувачі.



грама випуску  $i$ -ї деталі;  $N_{ii}$  — кількість  $i$ -х деталей в децентралізованому накопичувачі (надалі будемо вважати, що деталі транспортуватимуться і накопичуватимуться в касеті). У випадку, коли децентралізованим накопичувачем деталей буде тактовий стіл ( $j=2$  — рис. 4.4), то деталі будуть транспортуватися поштучно, тобто  $N_{ii}=1$ ;  $P_i'/N_{ii}$  — потрібна кількість касет з деталями  $i$ ;  $\alpha_{ii}=1$  — якщо деталь подається для обробки на  $l$ -му ГВМ;  $\alpha_{ii}=0$  — у протилежному випадку.  $t_{цii}$  — штучно-калькуляційний час обробки  $i$ -ї деталі на обладнання  $l$ -го ГВМ;  $k_{тиl}$  — коефіцієнт технічного використання обладнання  $l$ -го ГВМ (ГОСТ 27002-83);  $t_{об ii}$  — час обслуговування транспортно-накопичувальною системою  $l$ -го ГВМ, на обладнанні якого обробляється  $i$ -та деталь;  $k_T$  — коефіцієнт простою обладнання внаслідок його багатопозиційного обслуговування транспортною системою ГВС.

Оскільки транспортна система пов'язує декілька гнучких виробничих модулів, склад і допоміжні позиції ГВС (позиції комплектації інструментальних магазинів, контрольну позицію тощо), кожна з яких, у свою чергу, є системою масового обслуговування (СМО), що технологічно пов'язані між собою, то для визначення завантаження структурних одиниць системи слід розглянути мережу масового обслуговування [3, 17].

Блок-схема алгоритму оптимального проектування структурно-компоновочних рішень гнучкої виробничої системи зображена на рис. 4.9.

Інтенсивність надходження касет з деталями на обробку в  $i$ -й РТК:

$$\rho_i = \frac{T_{обi}}{T_{цi}}, \quad (\text{блок 15}),$$

де  $T_{обi}$  — середньостатистичне значення часу обслуговування  $l$ -го ГВМ транспортною системою (сумарна вага розрізаних ланок графа  $\chi$ ):

$$T_{обi} = \frac{\sum_{i=1}^I t_{обii}}{I \sum_{i=1}^I \alpha_{ii}} \quad (\text{блок 14}),$$

$T_{цi}$  — середньостатистична трудомісткість циклу обробки деталей однієї касети на обладнанні  $l$ -го ГВМ (сумарна вага вершин графа  $\chi$ ):

$$T_{цi} = \frac{\sum_{i=1}^I t_{цii} \cdot N_{ii}}{I \sum_{i=1}^I \alpha_{ii}} \quad (\text{блок 6}).$$

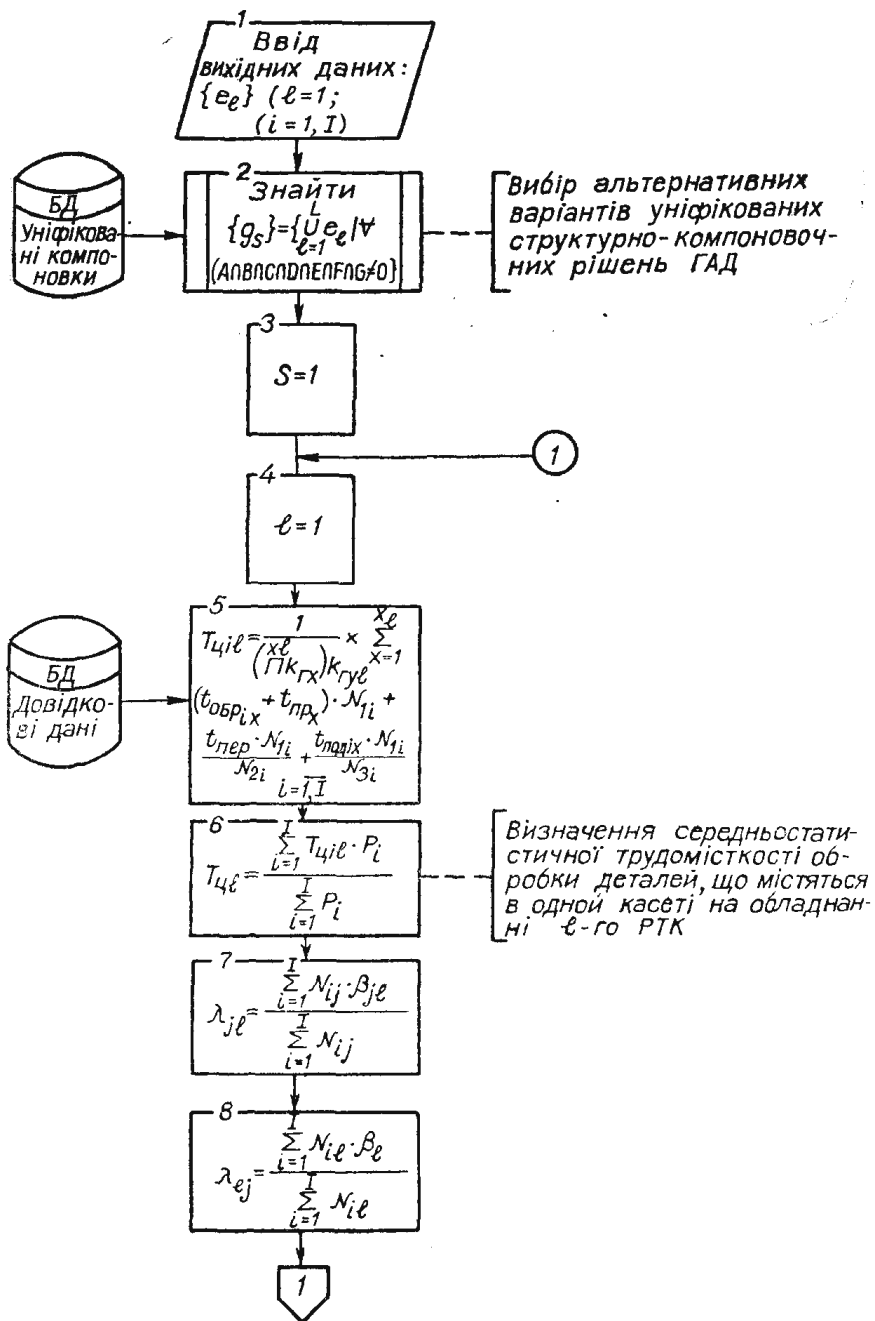


Рис. 4.9.

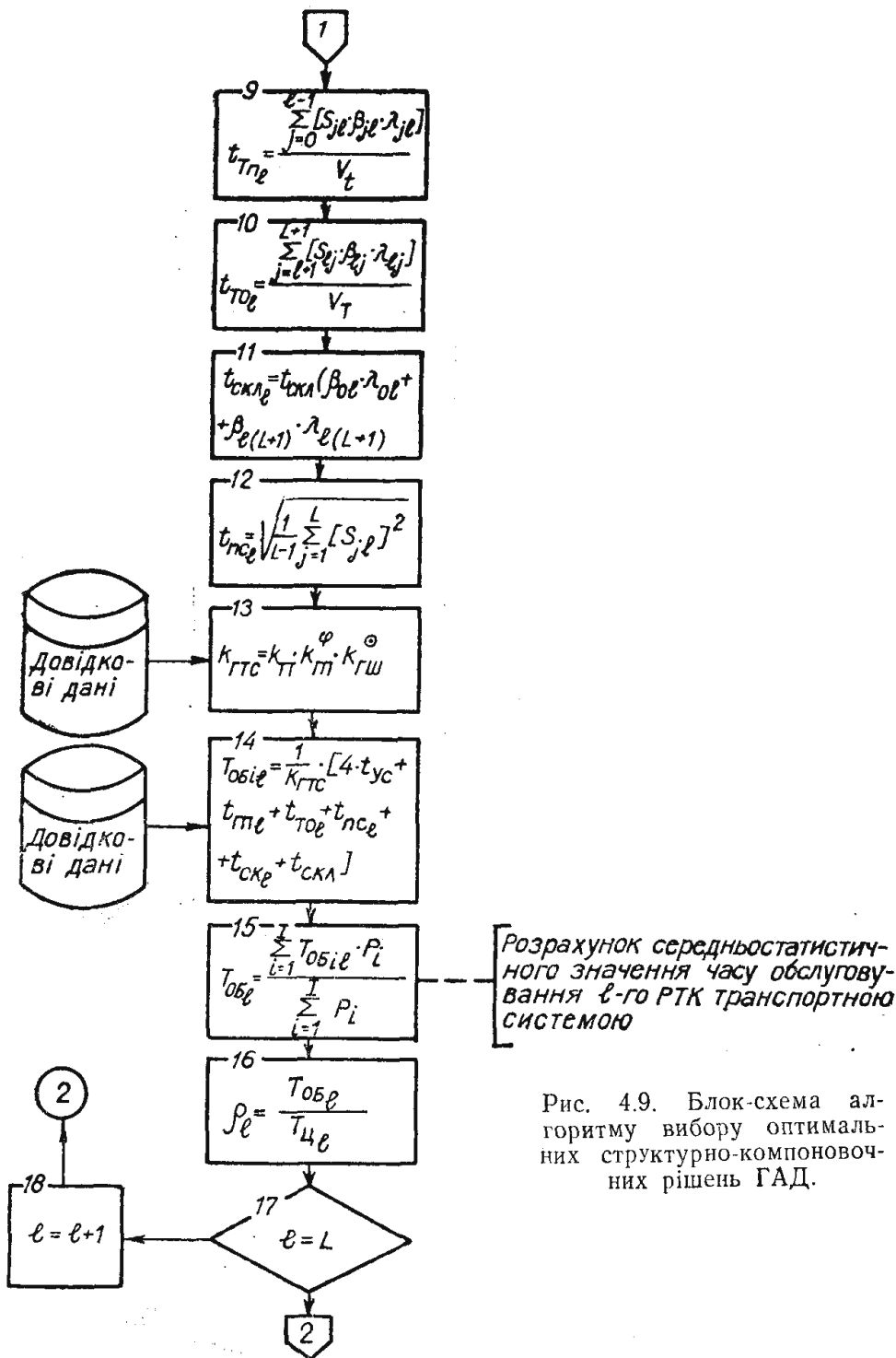


Рис. 4.9. Блок-схема алгоритму вибору оптимальних структурно-компоновочних рішень ГАД.

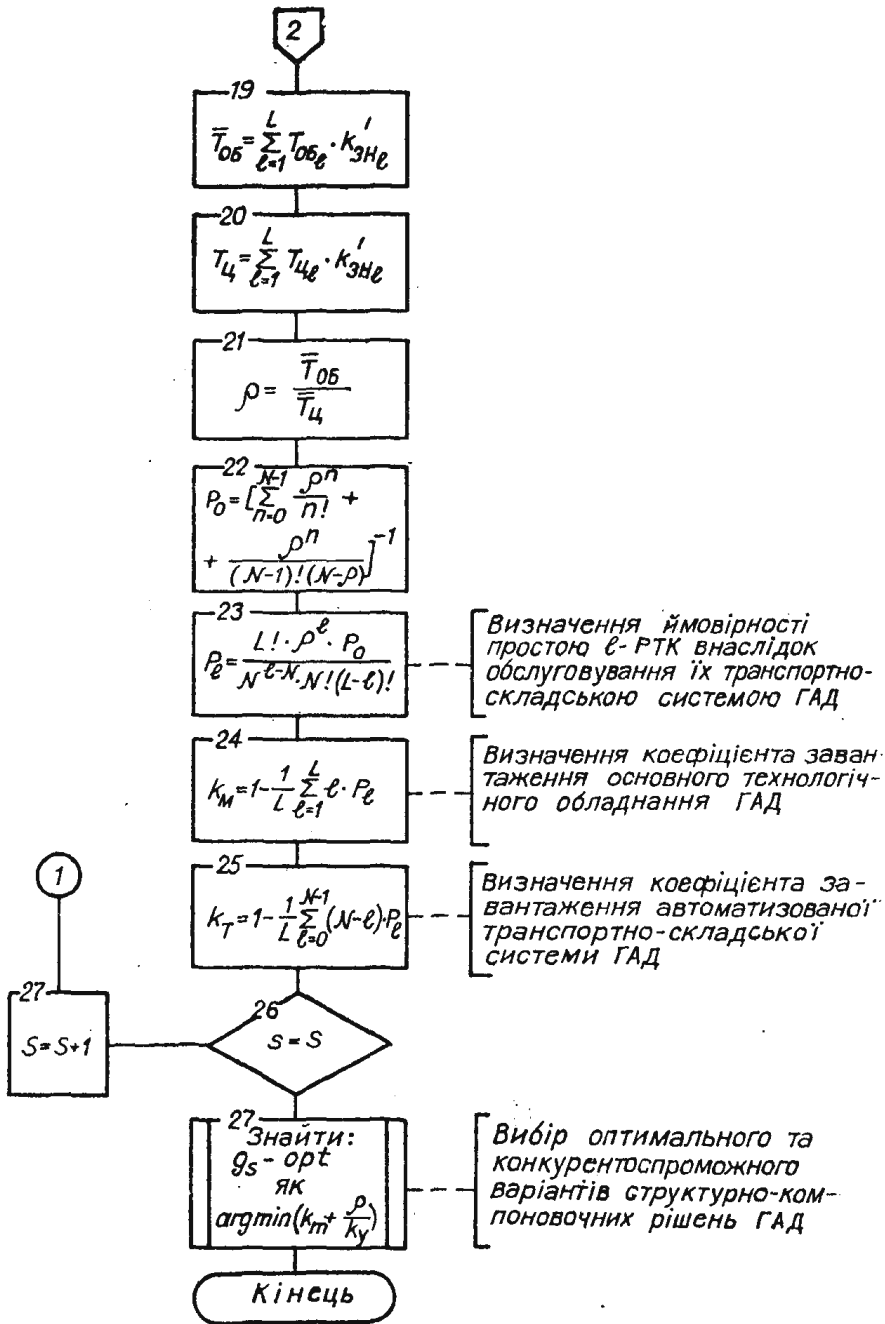


Рис. 4.9. (закінчення).

Тоді

$$T_{ГВС} = \sum_{l=1}^L \sum_{i=1}^I \left[ \frac{t_{цш} \cdot P_l \cdot \alpha_{il}}{N_{il}} \left( \frac{1}{k_{тиi}} + \frac{\rho_l}{k_T} \right) \right].$$

Оскільки при виборі компоновочних рішень

$$\sum_{l=1}^L \sum_{i=1}^I \frac{t_{цш} \cdot P_l \cdot \alpha_{il}}{N_{il}} = \text{const},$$

то звідси випливає, що мінімізація  $T_{ГВС}$  здійснюється при

$$\sum_{l=1}^L \left( \frac{1}{k_{тиl}} + \frac{\rho_l}{k_T} \right) \rightarrow \min \quad (\text{блок 27}).$$

$$t_{цш} = \frac{1}{k_{гмl}} \sum_{x=1}^{x_l} \left[ (t_{обр_{lx}} + t_{пр_x}) \cdot N_{il} + \frac{t_{пер_x} N_{il}}{N_{2i}} + \frac{t_{під_{lx}} N_{il}}{N_{3i}} \right],$$

(блок 5),

де  $t_{обр_{lx}}$  — штучний час обробки  $i$ -ї деталі на  $x$ -му верстаті, що входить до складу  $l$ -го ГВМ;  $t_{пр_{lx}}$  — час встановлення—зняття  $i$ -ї деталі на  $x$ -й верстат за допомогою ПР;  $N_{il}$  — кількість деталей  $i$  в одній касеті;  $t_{пер_x}$  — середньостатистичний час переналадки  $x$ -го обладнання  $l$ -го ГВМ на випуск іншої деталі;  $N_{2i}$  — величина партії  $i$ -ї деталі;  $t_{під_{lx}}$  — час підналадки верстата  $x$  при обробці  $i$ -ї деталі;  $N_{3i}$  — кількість  $i$ -х деталей, обробку яких проводять без підналадки (найбільш доцільним є призначення  $N_{3i}$ , що кратне відношенню  $\frac{N_{il}}{N_{3i}}$ ;  $k_{гмl} = k_{гyl} \cdot \prod_{x=1}^{x_l} k_{гxl}$  коефіцієнт готовності обладнання  $l$ -го ГВМ (згідно з ГОСТ 27002-83);  $k_{гxl}$ ,  $k_{гyl}$  — коефіцієнти готовності верстата і робота відповідно.

$$T_{обш} = \frac{1}{k_{гтс}} [4t_{yc} + t_{тп_l} + t_{то_l} + t_{пс_l} + t_{ск_l} + t_{скл}]$$

(блок 14),

де  $t_{yc}$  — час встановлення (зняття) касети з заготовками (деталлями);  $t_{тп_l}$  — час транспортування касети з деталями (заготовками) від попередньої позиції їх обробки (або зі складу) до позиції установки касети на  $l$ -му ГВМ;  $t_{то_l}$  — час транспортування касети з деталями з  $l$ -го ГВМ на наступну позицію їх обробки (або на склад);  $t_{пс_l}$  — час під'їзду транспортного пристрою до  $l$ -го ГВМ від позиції попереднього обслуговування;  $t_{скл}$  — час обслуговування складською системою ГВС;  $k_{гтс} = k_{лl} \cdot k_{гп} \cdot k_{гш}$  — коефіцієнт готовності транспортно-складської системи ГВС (ГОСТ 27002-83) [5, 6];  $k_{гт}$ ,  $k_{гп}$ ,  $k_{гш}$  — коефіцієнти готовності транспортної системи, перевантажного пристрою, штабелера відповід-

но;  $\Psi = \Psi(F)$ ;  $\varphi = \varphi(C; F; G)$ ;  $\Theta = \Theta(G)$  — показники ступенів, що визначаються конкретним компоновочним рішенням ГВС.

Величини  $t_{\text{тп}}^l$  і  $t_{\text{то}}^l$  носять статистичний характер і визначаються як

$$t = \frac{\sum_{j=0}^{-1} [S_{jl} \cdot \beta_{jl} \cdot \lambda_{jl}]}{V_T} \quad (\text{блок 8});$$

$$t_{\text{то}}^l = \frac{\sum_{j=l+1}^{L+1} [S_{lj} \cdot \beta_{lj} \cdot \lambda_{lj}]}{V_T} \quad (\text{блок 10});$$

$S_{jl}$ ,  $S_{lj}$  — відстань між  $l$ -ю і  $j$ -ю позицією встановлення касет (позицією  $j=0$  і  $j=L+1$  вважатимемо автоматизований склад)  $\beta_{jl}=1$ ,  $\beta_{lj}=1$  — якщо узагальнений технологічний маршрут обробки всієї номенклатури деталей  $I (i=1, I)$  передбачає можливість потоку деталей з  $i$ -ї структурної одиниці (РТК, складу) в  $l$ -ту і з  $l$ -ї в  $j$ -ту відповідно.  $\beta_{lj}=0$ ;  $\beta_{ij}=0$ , у протилежному випадку.  $\lambda_{jl}$ ,  $\lambda_{lj}$  — доля всіх деталей, обробка яких здійснюється в  $j$ -й позиції (при  $j=0$  — знаходяться на складі), і тих, що надходять в  $l$ -й ГВМ (при  $j=L+1$  — тих, що надходять на склад) і навпаки, відповідно.

$$\lambda_{jl} = \frac{\sum_{i=1}^I N_{ij} \cdot \beta_{jl}}{\sum_{i=1}^I N_{il}} \quad (\text{блок 7}).$$

$$\lambda_{lj} = \frac{\sum_{i=1}^I N_{il} \cdot \beta_{lj}}{\sum_{i=1}^I N_{ij}} \quad (\text{блок 9}).$$

$N_{ij}$ ,  $N_{il}$  — кількість деталей  $i$  ( $i=1, I$ ), які обробляються на  $j$ -му і  $l$ -му ГВМ відповідно.

Час обслуговування  $l$ -го ГВМ складською системою:

$$t_{\text{скл}}^l = t_{\text{скл}} (\beta_{0l} \cdot \lambda_{0l} + \beta_{l(L+1)} \cdot \lambda_{l(L+1)}) \quad (\text{блок 11}),$$

$t_{\text{скл}}$  — середньостатистичний час завантаження (зняття) касети з деталями (заготовками) на стелаж (зі стелажа) з прийомної позиції складу (на прийомну позицію).

Величина  $t_{\text{пс}}^l$  носить випадковий характер і визначається як

$$t_{\text{пс}}^l = \sqrt{\frac{1}{L-1} \sum_{j=1}^L [S_{jl}]^2} \quad (\text{блок 12}).$$

Сумарний потік замовлень на обслуговування ГВС транспортною системою є експоненціальним пуассонівським. Середньостатистичне значення завантаження одного каналу СМО:

$$\rho = \frac{\bar{T}_{об}}{\bar{T}_{ц}} \quad (\text{блок 21}),$$

де

$$\bar{T}_{об} = \sum_{i=1}^L T_{об_i} \cdot k'_{п_i} \quad (\text{блок 19}),$$

$$\bar{T}_{ц} = \sum_{i=1}^L T_{ц_i} \cdot k'_{п_i} \quad (\text{блок 20}),$$

де  $k'_{п_i}$  — приведений коефіцієнт пріоритету  $i$ -го РТК.

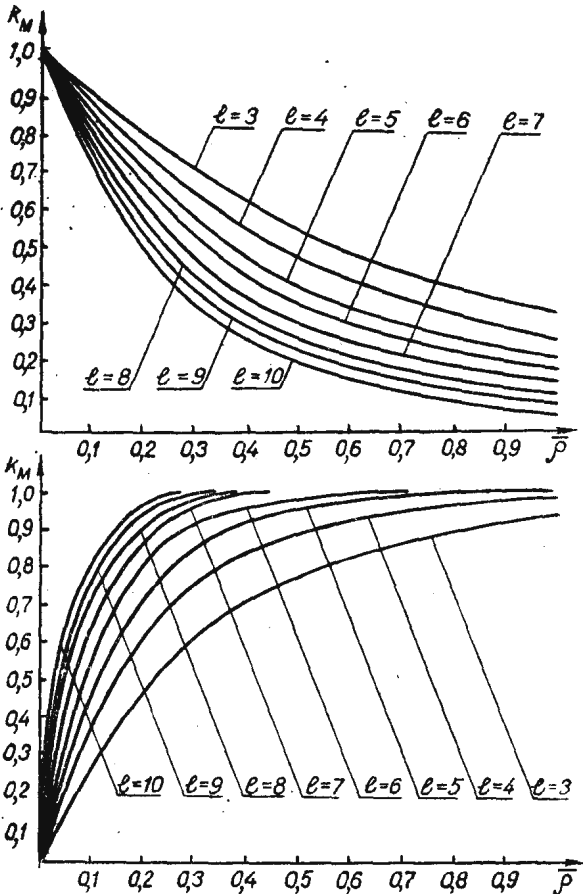


Рис. 4.10. Графіки залежності коефіцієнтів завантаження ГВС ( $k_m$ ) внаслідок обслуговування його транспортною системою (к<sub>т</sub>) від завантаження СМО ( $\rho$ ) і кількості РТК ( $l$ ).

Згідно з положеннями теорії масового обслуговування [2, 10, 12], ймовірність того, що всі ГВМ простояють внаслідок обслуговування їх АТСС, визначається співвідношенням

$$P_0 = \left[ \sum_{n=0}^{N-1} \frac{\rho^n}{n!} + \frac{\rho^N}{(N-1)!(N-\rho)} \right]^{-1} \quad (\text{блок 22}).$$

На рис. 4.10 показані графіки залежності коефіцієнтів завантаження ГВМ ( $k_M$ ) внаслідок обслуговування його АТСС, транспортної системи ( $k_T$ ) від завантаження СМО ( $\rho$ ) і кількості ГВМ ( $l$ ).

#### 4.4. Економіко-математична модель проектування ГВС

Як критерій першого роду, що забезпечує виявлення глобального оптимуму поліваріантної оптимізаційної задачі вибору технологічних і структурно-компонувочних рішень ГВС, слід використати критерій мінімуму приведених витрат на придбання та експлуатацію обладнання.

У найбільш розгорнутому вигляді послідовність проведених у системно-економічному аналізі робіт може бути показана з допомогою схеми взаємозв'язків техніко-економічних та конструкторсько-технологічних параметрів і показників гнучкої виробничої системи (рис. 4.11). Ця схема є алгоритмом системно-економічного аналізу і базою для розробки алгоритму розв'язання оптимізаційної задачі. Тут відображений характер впливу базових показників, що задаються на узагальнені техніко-економічні характеристики альтернативних варіантів розв'язання.

Нехай на обладнанні гнучкої виробничої системи (дільниці або лінії), що складається з  $L$  ( $l=1, \overline{L}$ ) ГВМ (або РТК),  $N$  ( $n=1, \overline{N}$ ) міжопераційних транспортних систем і  $Q$  ( $q=1, Q$ ) автоматизованих складів, обробляється  $I$  ( $i=1, \overline{I}$ ) різних типових представників класифікаційного ряду деталей. Зі всіх технологічних маршрутів їх виготовлення необхідно виділити  $B_M$  ( $b_M=1, \overline{B_M}=1, \overline{B_M}$ ) різних операцій обробки, що виконуються на  $x$  моделей верстатів, конструктивно сумісних з  $Y$  ( $y=1, \overline{Y}$ ) моделями роботів.

Введемо бульові перемінні:  $a_{jm}=1$ , якщо технологічний маршрут  $d_{ij}$  обробки  $i$ -ї деталі включає в себе  $b_m$ -ту операцію;  $a_{im}=0$  у протилежному випадку;  $\beta_{mx}=1$ , якщо  $b_m$ -та технологічна операція виконується на  $x$ -му верстаті;  $\beta_{mx}=0$ , у протилежному випадку;  $\gamma_{xl}=1$ , якщо  $x$ -й верстат включений до складу  $l$ -го ГВМ;  $\gamma_{xl}=0$  у протилежному випадку;  $\tau_{xy}=1$ , якщо  $y$ -й ПР обслуговує  $x$ -й верстат;  $\tau_{xy}=0$ , у протилежному випадку;  $\varepsilon_{nl}=1$ , якщо  $n$ -на



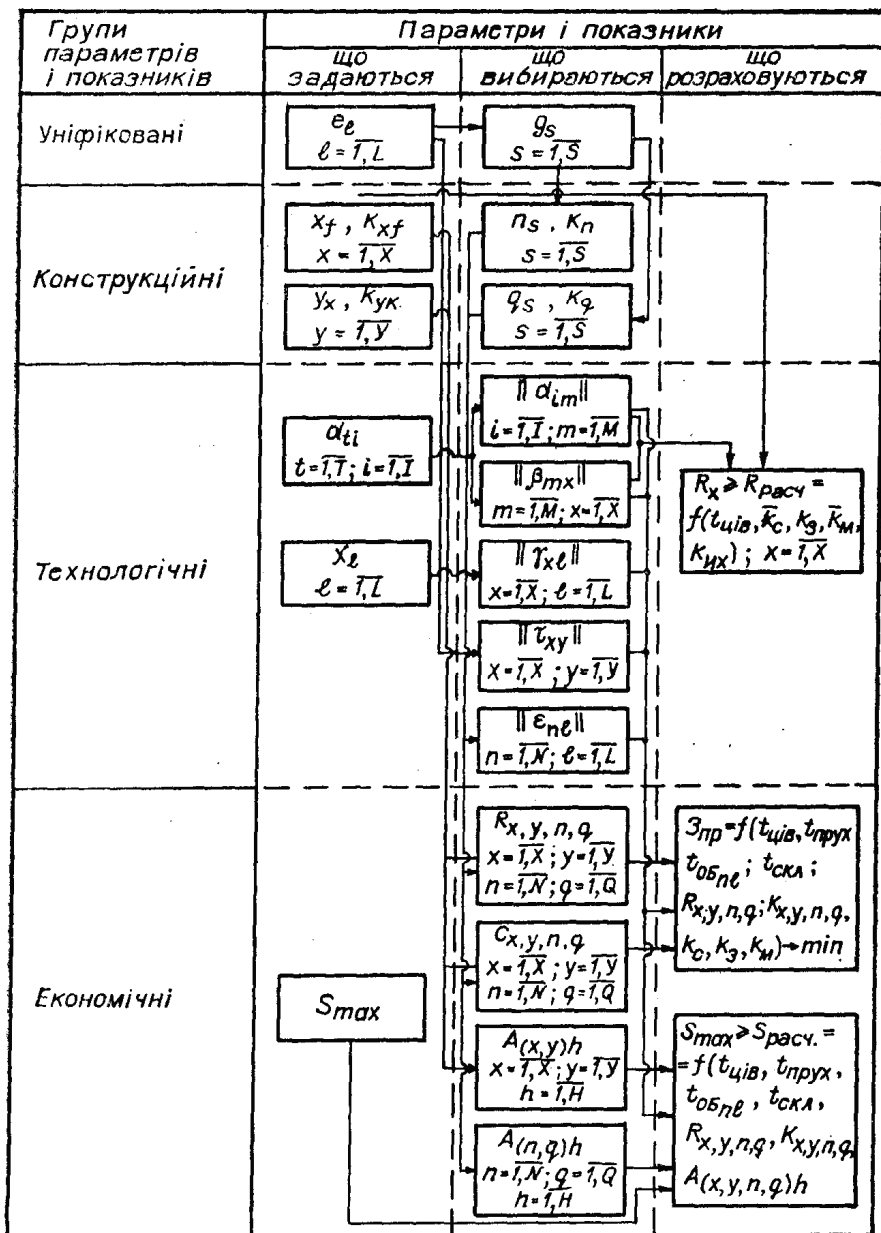


Рис. 4.11. Економіко-математична модель взаємозв'язку основних параметрів і показників технологічних і структурно-компонувочних рішень ГВС:

$g_s$  —  $s$ -е структурно-компоновочне рішення ГВС;  $e_i$  —  $i$ -е компоновочне рішення ГВМ;  $x_f$  —  $f$ -а модель основного технологічного обладнання;  $n$  — транспортна система;  $q$  — автоматизований склад;  $K_{x, y, n, q}$  — кількість верстатів, роботів, АТСС відповідно;  $R_{x, y, n, q}$  — вартість верстата, робота, АТСС відповідно;  $A(x, y, n, q)h$  — витрати, що припадають на 1 рік роботи верстата, робота і АТСС відповідно;  $S_{max}$  — гранична сума витрат на ГВС.

транспортна система обслуговує  $l$ -й ГВМ;  $\epsilon_{nl} = 0$ , у протилежному випадку.

Математична модель набуде такого вигляду:

$$\begin{aligned} & \sum_{l=1}^L \sum_{i=1}^I \sum_{b=1}^B \sum_{x=1}^X \left( \frac{t_{lib} \cdot P_i \cdot C_x \cdot a_{im} \cdot \beta_{mx} \cdot \gamma_{xl}}{60(1 - \bar{k}_{Cl})} \right) + \\ & + \sum_{l=1}^L \sum_{x=1}^X \sum_{y=1}^Y \left( \frac{t_{пpy} \cdot P_i \cdot C_y \cdot \tau_{yx} \cdot \gamma_{xl}}{60(1 - \bar{k}_{CPl})} \right) + \\ & + \sum_{l=1}^L \sum_{i=1}^I \sum_{n=1}^N \sum_{q=1}^Q \left( \frac{(t_{обnl} + t_{cknl}) \cdot P_i / N_i (C_n + C_q) \cdot \epsilon_{nl}}{120 k_T} + \right. \\ & \left. + E_H \left[ \sum_{x=1}^X \sum_{y=1}^Y \sum_{n=1}^N \sum_{q=1}^Q (R_x \cdot K_x + R_y \cdot K_y + R_n \cdot K_n + R_q \cdot K_q) \right] \right) > \min \quad (1) \end{aligned}$$

$$\sum_{x=1}^X a_{im} \cdot \beta_{mx} = 1, \quad m = \overline{1, M}; \quad i = \overline{1, I}; \quad (2)$$

$$\sum_{l=1}^L \tau_{xy} \cdot \gamma_{xl} = 1, \quad y = \overline{1, Y}; \quad x = \overline{1, X}; \quad (3)$$

$$K_x \geq \frac{\sum_{i=1}^I \sum_{b=1}^B (t_{lib} \cdot P_i \cdot a_{im} \cdot \beta_{mx})}{60 \cdot \Phi_x (1 - \bar{k}_C) \cdot \bar{k}_M \cdot k_{TCx}}, \quad x = \overline{1, X}; \quad (4)$$

$$\begin{aligned} & \sum_{n=1}^H \left[ \sum_{l=1}^I \sum_{b=1}^B \sum_{x=1}^X (A_{xh} \cdot t_{lib} / 60 \cdot P_i \cdot a_{im} \cdot \beta_{mx}) + \right. \\ & + \sum_{l=1}^I \sum_{b=1}^B \sum_{y=1}^Y (A_{yh} \cdot t_{пpy} / 60 \cdot P_i \cdot \tau_{yx}) + \sum_{l=1}^I \sum_{i=1}^I \sum_{n=1}^N (A_{nh} \times \\ & \times t_{обnl} / 60 \cdot P_i / N_i \cdot \epsilon_{nl}) + \sum_{i=1}^I \sum_{q=1}^Q (A_{qh} \cdot t_{cknl} / 60 \cdot P_i / N_i) \left. \right] + \\ & + \sum_{x=1}^X (R_x + R'_x) \cdot K_x + \sum_{y=1}^Y (R_y + R'_y) \cdot K_y + \sum_{n=1}^N (R_n + R'_n) \cdot K_n + \\ & + \sum_{q=1}^Q \quad (5) \end{aligned}$$

Цільова функція (1) являє собою економічний критерій по мінімуму приведених витрат. Тут прийняті позначення:

$t_{ib}$  — штучний час виконання  $ib$ -ї деталеоперції (хв);  
 $P_i$  — річна програма випуску  $i$ -ї деталі;

- $C_x$  — витрати на експлуатацію основного технологічного обладнання (крб/год);
- $\bar{k}_{Cl}$  — коефіцієнт простою основного технологічного обладнання 1-го ГВС внаслідок обслуговування його ПР;
- $t_{ПР\ yx}$  — час обслуговування верстата  $x$  роботом  $y$  (хв);
- $C_y$  — витрати на експлуатацію  $y$ -го ПР (крб/год);
- $k_{Pl}$  — коефіцієнт простою  $y$ -го ПР в  $l$ -му ГВМ (РТК);
- $t_{Об\ ni}$  — час обслуговування  $n$ -ю транспортною системою  $l$ -го ГВМ (хв);
- $t_{скл}$  — середньостатистичний час обслуговувань транспортної системи роботом-штабелером автоматизованого складу;
- $N_i$  — місткість касети з  $i$ -ми деталями;
- $C_n, C_q$  — витрати на експлуатацію  $n$ -ї транспортної системи і  $q$ -го автоматизованого складу відповідно (крб/год);
- $\bar{k}_T$  — коефіцієнт завантаження АТСС системи;
- $E_n$  — нормативний коефіцієнт порівняльної економічної ефективності ( $E_n = 0,15$ );
- $R_x, R_y, R_n, R_q$  — витрати на придбання  $x$ -го верстата,  $y$ -го робота,  $n$ -ї транспортної системи і  $q$ -го автоматизованого складу, що обслуговують ГВС відповідно.
- Обмеження (2) — (5) складають такі вимоги:
- (2) — обов'язкове виконання всіх  $i b_m$ -х деталесперацій ( $i = \overline{1, I}; m = \overline{1, M}$ ) на обладнанні ГВС;
- (3) — обов'язкове обслуговування всіх верстатів ( $x = \overline{1, X}$ ), що включені в склад ГВС, промисловими роботами ( $y = \overline{1, Y}$ );
- (4) — кількість верстатів моделі  $x$ , що виконують  $b_m$ -ту технологічну операцію, повинні забезпечити фонд часу, достатній для виконання річної програми деталей ( $\Phi_x$  — дійсний річний фонд часу  $x$ -го верстата);  $k_m$  — середньостатистичне значення коефіцієнта завантаження обладнання ГВМ внаслідок обслуговування його АТСС;
- $k_{ТВ\ x}$  — коефіцієнт технічного використання  $x$ -го верстата (з урахуванням планового ремонту і технічного обслуговування, наладки і т. п.);
- (5) — не повинні бути перевищені задані для ГВС ресурси  $S_{\max}(A_{(x,y,n,q)h})$  — витрати, що припадають на 1 год роботи верстата моделі  $x$ , робота моделі  $y$   $n$ -ї транспортної системи,  $q$ -го автоматизованого складу відповідно за  $h$ -ю статтю витрат (на електроенергію, амортизаційні відрахування тощо);
- $R'_x, R'_y, R'_n, R'_q$  — вартість допоміжних пристроїв для забезпечення роботи  $x$ -го верстата,  $y$ -го робота,  $n$ -ї транспортної системи і  $q$ -го автоматизованого складу відповідно (крб).

Ця математична модель являє собою задачу цілочисельного нелінійного програмування з бульовими перемінливими. Алгоритм розв'язання цієї задачі найбільш доцільно шукати з використанням процедури напрямленого спуску за евристичними правилами.

#### **4.5. Дослідження математичних моделей на адекватність**

(приклад вибору оптимального структурно-компоновочного вирішення гнучкої автоматизованої дільниці обробки деталей типу «вал» і «вал—шестірня»).

##### **4.5.1. ПОСТАНОВКА ЗАДАЧІ**

Прикладом для дослідження на адекватність наведених вище моделей та алгоритмів структурно-компоновочного проектування ГВС служить розробка гнучкої автоматизованої дільниці (ГАД) обробки деталей типу «вал» і «вал—шестірня» на ВО «Конвейер».

У виробничому об'єднанні здійснюється серійне виробництво гами редукторів типу КДВ-150, КДВ-200 для вантажонесучих конвейерів. Часта зміна виробів, зумовлена невеликим серіями редукторів, що постачаються для потреб окремих замовників, спричиняє значні простой основного технологічного обладнання, недостатню якість продукції, що виготовляється, через велике значення суб'єктивного фактора, і, як наслідок, відносно низьку продуктивність праці.

Таким чином, постає завдання розробки гнучкої автоматизованої дільниці механічної обробки деталей типу «вал» і «вал—шестірня». При цьому мають бути враховані такі вимоги замовника:

- на обладнанні ГАД повинна оброблятися вся номенклатура валів і валів—шестірень (20 найменувань);
- доцільна найбільш повна обробка деталей у межах ГАД, що дає змогу отримувати на виході вироби, придатні для наступного складання;
- капітальні витрати не повинні перевищувати встановлену замовником суму;
- площа, на якій буде розміщено обладнання, не повинна перевищувати 125 м<sup>2</sup> (25×5 м).

##### **4.5.2. ВИБІР КІЛЬКІСНОГО І ЯКІСНОГО СКЛАДУ ОСНОВНОГО ТЕХНОЛОГІЧНОГО ОБЛАДНАННЯ ГАД (на прикладі токарних верстатів з ЧПУ)**

Для вибору складу обладнання необхідно навести інформацію про всі деталі, обробка яких передбачається на ГАД.

Середнє значення програми випуску деталей:

$$P = \frac{\sum_{i=1}^{20} P_i}{20} = 6225 \text{ (шт.)}$$

Сумарна програма випуску деталей становить  $P_{\Sigma} = 124500$  шт. Внаслідок групування деталей за типорозмірами (2) утворені чотири групи:

$S_{r1}$  ( $i=2, 3, 6, 8, 9, 10, 14, 17, 20$ );

$S_{r2}$  ( $i=1, 5, 7, 11, 13, 15, 19$ );

$S_{r3}$  ( $i=4, 12, 18$ );

$S_{r4}$  ( $i=16$ ).

Приведена річна програма випуску деталей: першої групи ( $R=1$ );

$$P_{r1} = P_2 + P_3 + P_6 + P_8 + P_9 + P_{10} + P_{14} + P_{17} + P_{20} = 66400 \text{ шт.}$$

другої групи ( $R=2$ ):

$$P_{r2} = P_1 + P_7 + P_{11} + P_{13} + P_{15} + P_{19} = 39900 \text{ шт.};$$

третьої групи ( $R=3$ ):

$$P_{r3} = P_4 + P_{12} + P_{18} = 13300 \text{ шт.};$$

четвертої групи ( $R=4$ ):

$$P_{r4} = P_{16} = 4900 \text{ шт.}$$

Середньостатистична трудомісткість токарної операції при обробці деталей:

першої групи ( $R=1$ ):

$$t_{r1} = \frac{\sum_{i=1}^{20} t_{ir} \cdot P_i}{P_r} = 2,6 \text{ (хв)};$$

другої групи ( $R=2$ ):  $t_{r2} = 3,32$  хв;

третьої групи ( $R=3$ ):  $t_{r3} = 4,09$  хв;

четвертої групи ( $R=4$ ):  $t_{r4} = 5,11$  хв.

Загальна трудомісткість токарних операцій при обробці річної програми всієї номенклатури деталей:

$$T_{\Sigma} = \sum_{r=1}^4 (t_r \cdot P_r) = 384544 \text{ хв} \approx 6409 \text{ год.}$$

Режим роботи дільниці:  $k_C = 2$ . Робота автоматизованих комплексів — тризмінна, але в третю зміну ГВМ працюють у режимі наладки і підготовки до роботи (комплектація і вхідний контроль

заготовок, настройка, контроль стану і комплектування верстатів ріжучим інструментом і закріплювальним оснащенням, перевірка і коректування управляючих програм; контроль, профілактичне та планове технічне обслуговування обладнання та ін.); у вечірню і нічну зміни модулі, що входять до складу дільниці, функціонують автоматично під наглядом обмеженого чергового персоналу [13].

Таблиця 4.5

**Вихідні дані розрахунку**

№ п/п	Річна програма випуску деталей, шт	Трудомісткість токарної операції, хв *	Розмірно-вагова група	№ п/п	Річна програма випуску деталей, шт	Трудомісткість токарної операції, хв *	Розмірно-вагова група
1	7000	3,14	2	11	4000	3,01	2
2	6200	2,50	1	12	7200	4,12	3
3	10400	2,81	1	13	4300	2,97	2
4	3100	3,90	3	14	6600	2,58	1
5	3400	3,26	2	15	8100	3,8	2
6	8700	2,12	1	16	4900	5,11	4
7	5500	3,58	2	17	11000	3,0	1
8	3200	2,01	1	18	3000	4,12	3
9	9100	2,94	1	19	7600	3,2	2
10	5900	2,57	1	20	5300	2,14	1

Середньостатистична трудомісткість токарної операції:

$$t_T = \frac{\sum_{i=1}^{20} t_i \cdot P_i}{\sum_{i=1}^{20} P_i} = 2,91 \text{ (хв)}$$

\* За аналогією з діючим виробництвом.

Коефіцієнт завантаження обладнання з урахуванням оперативного-календарного планування роботи дільниці приймаємо  $k = 0,75$ . Коефіцієнт завантаження внаслідок непередбачених обставин (відсутність електроенергії, матеріалів і т. п.)  $k_{\text{п}} = 0,9$ ,

Коефіцієнт завантаження внаслідок простоїв на ремонті і технічне обслуговування токарних верстатів при обробці деталей з легованих сталей 40X і 40XH при першому—третьому ремонтному циклі [8]:

$$k_p = 0,9 \cdot 1 \cdot 1 \cdot 1 \cdot 1 = 0,9$$

Час наладки токарного верстата з ЧПУ, що виконує чорнові і чистові операції (8)

$$t_H = 30 + 3A + 1,5\bar{t},$$

де  $\bar{t} = 2,91$  — середньостатистична трудомісткість токарної операції при обробці деталей класифікаційного ряду;

$A=5$  — середня кількість інструментів, що беруть участь у токарній обробці деталей.

$$t_H = 30 + 3 \cdot 5 + 1,5 \cdot 2,91 = 50 \text{ хв} = 0,83 \text{ год.}$$

Таким чином, коефіцієнт простою за рахунок наладочних робіт:

$$k_H = \frac{4011 - 0,83 \cdot 200}{4011} = 0,96.$$

Приймемо, що середньостатистична партія деталей  $U=200$  шт. Таким чином, коефіцієнт використання обладнання

$$k_{BO} = \frac{2}{3} \cdot 0,75 \cdot 0,9 \cdot 0,96 = 0,43.$$

Потрібна кількість токарних верстатів:

$$k_{xT} = \text{FLOOR} \left( \frac{6409}{6017 \cdot 0,43} \right) = \text{FLOOR}(2,47) = 3,$$

де  $\Phi=6017$  — річний фонд часу роботи одного верстата (при тризмінній роботі);  $\text{FLOOR}$  — функція, що дає найменше число, більше даного або яке дорівнює йому [7].

Розглянемо вибір якісного складу основного технологічного обладнання.

Згідно з класифікацією деталей за типорозмірами, визначається питома вага деталей кожної групи в загальній номенклатурі деталей:

$$V_r = \frac{P_{r1}}{P_{\Sigma}} = 0,53; \quad V_{r2} = \frac{P_{r2}}{P_{\Sigma}} = 0,32;$$

$$V_{r3} = \frac{P_{r3}}{P_{\Sigma}} = 0,11 \quad V_{r4} = \frac{P_{r4}}{P_{\Sigma}} = 0,04.$$

Ентропія спектру розмірно-вагових характеристик визначається за формулою

$$H_P = -R \sum_{r=1}^R (V_r \cdot \log_2 V_r),$$

де  $R$  — загальна кількість діапазонів розмірно-вагових характеристик (згідно з [2],  $R=5$ ).

$$H_P = (-5) (0,53 \cdot \log_2 0,53) + 0,32 \cdot \log_2 0,32 + 0,11 \times \\ \times \log_2 0,11 + 0,04 \cdot \log_2 0,04 = 7,03 \text{ (бит)}.$$

Вибираємо верстати двох типорозмірів. Для вибору конкретних моделей верстатів необхідно встановити коефіцієнти значущості кожної групи.

Питома верстатомісткість деталей 1-го розмірно-вагового діапазону ( $r=1$ ):

$$A_{r1} = \frac{t_{r1} \cdot P_{r1}}{T_{\Sigma}} = \frac{2,6 \cdot 66400}{384544} = 0,45;$$

$$A_{r2} = \frac{t_{r2} \cdot P_{r2}}{T_{\Sigma}} = 0,34;$$

$$A_{r3} = \frac{t_{r3} \cdot P_{r3}}{T_{\Sigma}} = 0,14;$$

$$A_{r4} = \frac{t_{r4} \cdot P_{r4}}{T_{\Sigma}} = 0,06.$$

Коефіцієнти значущості груп:

$$k_{зн1} = A_{r1} \cdot V_{r1} = 0,26;$$

$$k_{зн2} = A_{r2} \cdot V_{r2} = 0,11;$$

$$k_{зн3} = A_{r3} \cdot V_{r3} = 0,02;$$

$$k_{зн4} = A_{r4} \cdot V_{r4} = 2,4 \cdot 10^{-3}.$$

Таким чином, найбільш доцільно вибрати верстати двох типорозмірів:

перший, що охоплює 1-й розмірно-ваговий діапазон з такими розмірно-ваговими характеристиками [1]:

— найбільший діаметр обробки над супортом  $D_f = 50$  мм;

— найбільша довжина обробки  $L_f = 300$  мм;

— найбільша маса оброблюваної деталі  $M_f = 10$  кг; кількість таких верстатів 2 шт., оскільки:

$$k_{зн1} : (k_{зн2} + k_{зн3}) = 0,26 : (0,11 + 0,02) \approx 2:1;$$

другий, що охоплює 2-й і 3-й діапазони типорозмірів з такими характеристиками оброблюваних деталей, \*:

—  $D_f = 120$  мм;

—  $L_f = 500$  мм;

—  $M_f = 40$  кг;

Згідно з ГОСТ 14.304-73, третім параметром, за яким вибирається обладнання (після функціонального призначення і габаритів робочої зони), є відповідність верстата точності обробки. Для визначення потрібних класів точності основного технологічного обладнання слід розділити весь діапазон оброблюваних елементів форм (їх у загальній номенклатурі 137) за точнісними характеристиками, що відповідають певним класам точності.

Ймовірність появи кожного елемента в діапазоні класу точності  $H$  токарних верстатів з ЧПУ:

$$V_{H1} = \frac{112}{137};$$

\* Деталь № 16 слід вилучити з номенклатури оброблюваних на ГАД деталей через недоцільність включення у склад ділянки ще одного верстата більшого типорозміру.



в діапазоні класу точності П:

$$V_{\text{П}} = \frac{23}{137};$$

в діапазоні класу точності В:

$$V_{\text{В}} = \frac{2}{137}.$$

Ентропія спектру точнісних характеристик деталей згідно з формулою:

$$H_{\text{T}} = -T \sum_{i=1}^r V_i \cdot \log_2 V_i = -4 \left( \frac{112}{137} \cdot \log_2 \frac{112}{137} + \frac{23}{137} \cdot \log_2 \frac{23}{137} + \frac{2}{137} \cdot \log_2 \frac{2}{137} \right) = 3,01 \text{ (бит)}.$$

Вибирають верстати двох класів точності: Н — 2 шт. (нормальної) і П — 1 шт. (підвищеної).

Таким чином, у результаті розрахунку доцільно вибрати такий склад верстатів з ЧПУ (1):

1И611МФ30 (2 шт.) ( $D_f=80$  мм;  $L_f=500$  мм).

Точність обробки лінійних розмірів  $\Delta_{\text{л}}=0,07$  мм.

Точність обробки діаметральних розмірів  $\Delta_{\text{д}}=0,05$  мм.

—1720ПФ30 (1 шт.) ( $D_f=160$  мм;  $L_f=1000$  мм;  
 $\Delta_{\text{л}}=0,05$ ;  $\Delta_{\text{д}}=0,03$  (мм)).

### 4.5.3. ВИБІР КОМПОНОВОЧНИХ РІШЕНЬ РТК

Згідно з алгоритмом вибору оптимальних структурно-компоновочних рішень РТК (розділ 4.2), необхідно перш за все побудувати узагальнений граф технологічних маршрутів обробки деталей класифікаційного ряду. Мета його — повна формалізація і концентрація інформації про склад і послідовність виконання технологічних операцій і про транспортні потоки між ними. Це дасть змогу найбільш раціонально розподілити основне технологічне обладнання по РТК з урахуванням принципу інваріантності.

Аналіз технологічних маршрутів обробки деталей, котрі мають реалізуватися на обладнанні ГАД, дає змогу звести неметричні сітьові граfi  $\chi_i$ , що інтерпретують маршрути обробки окремих деталей  $i$  ( $i=1,19$ ), в узагальнений мультиграф  $\chi$  ( $B_m, H_m$ )

(рис. 4.12), причому  $\chi = \sum_{i=2}^{19} \chi_i$ .

Ваги вершин і дуг графа визначаються для всієї номенклатури деталей і є параметрами середньостатистичними (див. розд. 4.2).

На рис. 4.12 наведено варіанти розкладу графа  $\chi$ , що визначаються канонічною послідовністю:

$$B_{mi} \leq B_{(m+1)k}$$

при  $n \leq k$ , де  $n$  і  $k$  — номери позицій у впорядкованому ряді технологічного обладнання на сітьовому графі  $\chi$  (рис. 4.12).

Розглянемо приклад вибору оптимального складу РТК токарної обробки на основі критеріїв, що мінімізують простої основного та допоміжного обладнання.

Оскільки на обладнанні РТК здійснюється обробка широкої номенклатури деталей з недетермінованим часом обробки, то

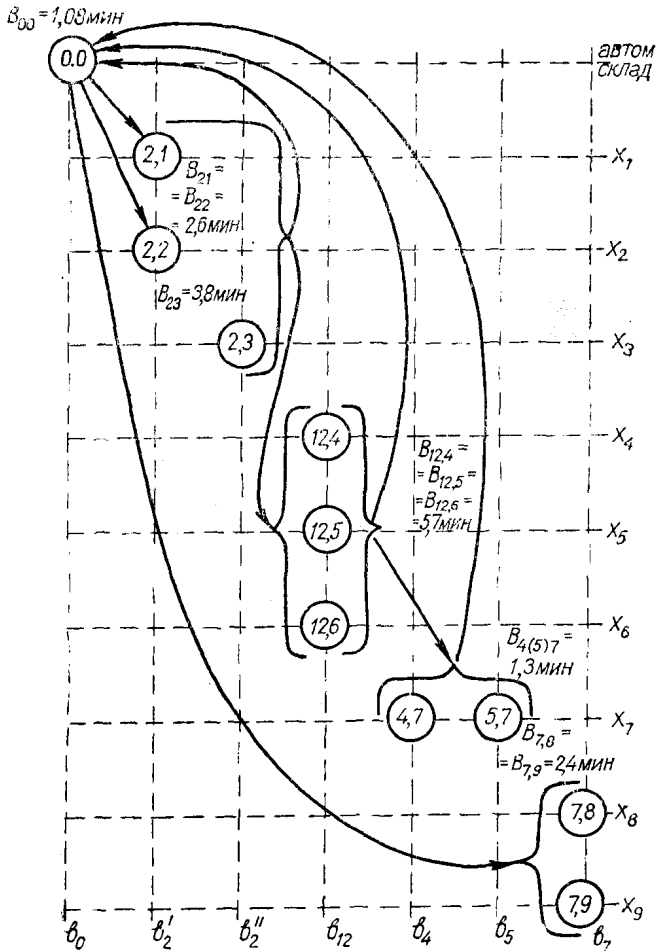


Рис. 4.12. Узагальнений мультиграф  $\chi$ :

$b_0$  — складування заготовок;  $b_2$  — токарна операція з ЧПУ;  $b_{12}$  — зубофрезерна;  $b_4$ – $b_5$  — свердильно-фрезерна з ЧПУ;  $b_7$  — шліфувальна з ЧПУ.  $x_1, x_2$  — токарний патронно-центровий верстат з ЧПУ (1720ПФ30);  $x_4$ – $x_5$  — зубофрезерний напівавтомат (А140Ф2);  $x_7$  — свердильно-фрезерний верстат з ЧПУ (6Т13МФ3);  $x_8, x_9$  — шліфувальний верстат з ЧПУ (3М151Ф2).

Ймовірність надходження вимоги на обслуговування роботом верстата можна умовно вважати рівною у будь-який проміжок часу (властивість стаціонарності). Наявність децентралізованих накопичувачів дає змогу зробити висновок про взаємну незалежність надходження тієї чи іншої кількості вимог на обслуговування (властивість «відсутності післядії»). Мала ймовірність отримання вимог на обслуговування одночасно від декількох одиниць технологічного обладнання визначає властивість ординарності. По-

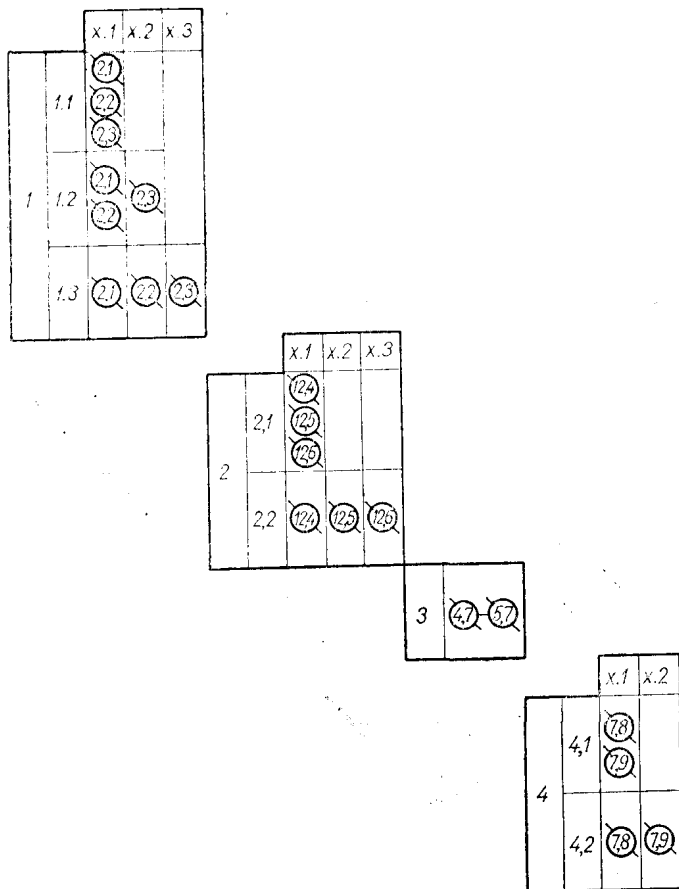


Рис. 4.13. Варіанти декомпозиції мультиграфа  $\chi$ .

тік вимог, що задовольняє ці три властивості, є пуассонівським. Для визначення розрахункових значень доцільно використати положення теорії масового обслуговування.

Виходячи з рис. 4.12 і 4.13, можна виділити три варіанти токарних РТК:

— варіант 1.1 включає в себе 1 РТК у складі трьох верстатів;

— варіант 1.2 включає в себе 2 РТК.

Перший із них (2.1) складається з двох верстатів ІІБ11МФ30 і ПР, а другий (1.2.2) — з верстата 1720ПФ30 і ПР.

— варіант 1.3 — включає в себе 3 РТК, у кожному з яких є один верстат, що обслуговується одним роботом (варіанти 1.3.1, 1.3.2 і 1.3.3 відповідно).

Ваги вершин графа  $\chi$ , що інтерпретують середньостатистичну трудомісткість виконання технологічних операцій:

$$B_{xi} = \frac{\sum_{i=1}^{20} t_{xi} \cdot P_i \cdot a_{ix}}{\sum_{i=1}^{20} P_i a_{ix}}$$

де  $t_{xi}$  — штучний час виконання технологічної операції обробки  $i$ -ї деталі на  $x$ -му верстаті (без урахування часу установки — зняття деталі з верстата);

$P_i$  — програма випуску  $i$ -ї деталі;

$a_{ix} = 1$  — якщо деталь закріплена за  $x$ -м верстатом;

$a_{ix} = 0$  — у протилежному випадку.

	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20
$a_{i1}$	0	1	1	0	0	1	0	1	1	1	0	0	0	1	0	0	1	0	0	1
$a_{i2}$	0	1	1	0	0	1	0	1	1	1	0	0	0	1	0	0	1	0	0	1
$a_{i3}$	1	0	0	1	1	0	1	0	0	0	1	1	1	0	1	0	0	1	1	0

$$t_{1,1} = t_{2,1} = \frac{\sum_{i=1}^{20} t_{ix} \cdot P_i \cdot a_{i1}}{\sum_{i=1}^{20} P_i \cdot a_{ix}} = 2,6(\text{хв});$$

$$t_{2,1} = \frac{\sum_{i=1}^0 t_{ix} \cdot P_i \cdot a_{i3}}{\sum_{i=1}^{20} P_i \cdot a_{ix}} = 3,8(\text{хв}).$$

$$\text{Тоді } B_{1,1,1} = \frac{2,6 \cdot 66400 + 3,8 (39900 + 13300)}{11960} = 3,13(\text{хв}).$$

Аналогічно визначаємо:

$$B_{1,2,1} = 2,6 \text{ хв}; \quad B_{1,2,2} = 3,8 \text{ хв}.$$

$$B_{1,3,1} = B_{1,3,2} = 2,6 \text{ хв}; \quad B_{1,3,3} = 3,8 \text{ хв}.$$

Ваги дуг графа, що інтерпретують середньостатистичну трудомісткість загрузки—вигрузки деталі на верстат за допомогою ПР:

$$H_i = \frac{\sum_{i=1}^I t_{3x} \cdot P_i \cdot a_{ix}}{\sum_{i=1}^I P_i \cdot a_{ix}},$$

де  $t_{3x} = 2t_{ycr} + \frac{S_t}{V}$  — час одного циклу роботи ПР (установка і транспортування деталі з верстата до накопичувача):  
у першому варіанті

$$t_{31} = 2 \cdot 0,02 + \frac{1,5}{20} = 0,12 \text{ (хв);}$$

$$t_{32} = 0,25 \text{ (хв); } t_{33} = 0,4 \text{ хв;}$$

$$H_{11} = \frac{33200 \cdot 0,12 + 33200 \cdot 0,25 + (33900 + 13300) \cdot 0,4}{119600} = 0,28 \text{ (хв);}$$

у другому варіанті

$$H_{1:2:1} = 0,19 \text{ хв;}$$

$$H_{1:2:2} = 0,4 \text{ хв;}$$

у третьому варіанті

$$H_{1:3:3} = 0,4 \text{ хв;}$$

$$H_{1:3:1} = H_{1:3:2} = 0,12 \text{ хв.}$$

Розраховуємо коефіцієнти завантаження обладнання для РТК 1.1.

Завантаження робототехнічного комплексу, що являє собою одноканальну систему масового обслуговування:

$$\rho = \frac{\lambda}{\mu} = \frac{H_{1:1:1}}{B_{1:1:1}} = 0,089.$$

Ймовірність того, що всі верстати працюють, а робот простоє:

$$P_0 = (1 + 3\rho + 6\rho^2)^{-1} = 0,761.$$

Ймовірність простою одного верстата:

$$P_1 = 3 \cdot P_0 \cdot \rho = 0,20;$$

— двох верстатів:

$$P_2 = 2P_1 \cdot \rho = 0,03;$$

— трьох верстатів:

$$P_3 = P_2 \cdot \rho = 2,7 \cdot 10^{-3}.$$

Коефіцієнт завантаження верстатів:

$$k_B = 1 - \frac{1}{3} \sum_{x=1}^3 x P_x = 0,91.$$

Коефіцієнт завантаження ПР:

$$K_P = 1 - P_0 = 0,239.$$

Для другого варіанта

— РТК 1.2.1

$$\rho = \frac{H_{1.2.1}}{B_{1.2.1}} = 0,073; \quad P_0 = (1 + 2\rho)^{-1} = 0,87;$$

$$P_1 = 2P_0 \cdot \rho = 0,127; \quad P_2 = P_1 \cdot \rho = 9,2 \cdot 10^{-3};$$

$$k_B = 0,909; \quad k_P = 0,091.$$

Для визначення приведенного коефіцієнта завантаження обладнання визначаємо приведені коефіцієнти значущості РТК 1.2.1 ( $k'_{н1}$ ) і РТК 1.2.2 ( $k'_{н2}$ ).

Питома верстатомісткість деталей, що обробляються на РТК 1.2.1,

$$A_1 = \frac{t_{1.1} + t_{2.1}}{t_{1.1} + t_{2.1} + t_{3.1}} = 0,58;$$

РТК 1.2.2

$$A_2 = \frac{t_{3.1}}{t_{1.1} + t_{2.1} + t_{3.1}} = 0,42.$$

Питома вага деталей у групі:

РТК 1.2.1

$$B_1 = \frac{\sum_{i=1}^{20} P_i \cdot \alpha_{i1}}{\sum_{i=1}^2 P_i} = 0,53;$$

РТК 1.2.2.

$$B_2 = \frac{\sum_{i=1}^{20} P_i \cdot \alpha_{i2}}{\sum_{i=1}^{20} P_i} = 0,47.$$

Коефіцієнти значущості:

$$k_{н1} = A_1 \cdot B_1 = 0,3;$$

$$k_{н2} = A_2 \cdot B_2 = 0,2.$$

Приведені коефіцієнти значущості:

$$k'_{\text{зні1}} = \frac{k_{\text{зні1}}}{k_{\text{зні1}} + k_{\text{зні2}}} = 0,6;$$

$$k'_{\text{зні2}} = \frac{k_{\text{зні2}}}{k_{\text{зні1}} + k_{\text{зні2}}} = 0,4.$$

Таким чином, коефіцієнт завантаження токарних верстатів з ЧПУ

$$k_B = 0,927 \cdot 0,6 + 0,909 \cdot 0,4 = 0,92.$$

Для третього варіанта розрахунок проводиться аналогічно: РТК 1.3.1 і РТК 1.3.2:  $k_B = 0,932$ ;  $k_P = 0,068$ . РТК 1.3.3:  $k_B = 0,909$ ;  $k_P = 0,091$ .

$$A_1 = A_2 = 0,29; A_3 = 0,42;$$

$$B_1 = B_2 = 0,27; B_3 = 0,46$$

$$k_{\text{зні1}} = k_{\text{зні2}} = 0,079; k_{\text{зні1}} = 0,190.$$

$$k'_{\text{зні1}} = k_{\text{зні2}} = 0,225, \quad k_{\text{зні2}} = 0,55; \quad k_B = 0,925.$$

Таким чином, третій варіант буде оптимальний, оскільки в ньому  $k_B$  тах. Якщо в інших варіантах  $k_C > 0,75$ , то вони можуть вважатися конкурентноспроможними. Результати розрахунку інших РТК ділянки подані в табл. 4.6.

Різні варіанти розподілу основного технологічного обладнання по РТК реалізуються в компоновочних рішеннях, що являють собою уніфіковану сукупність класифікаційних ознак  $\langle a \cdot b \cdot c \cdot d \cdot e \times \times f \cdot g \cdot h \rangle$ . Альтернативні варіанти таких рішень наведені на рис. 4.14.

На прикладі РТК токарної обробки розглянемо можливість обслуговування основного обладнання, що входить до складу робототехнічних комплексів (математична модель наведена в розд. 4.2).

Для обслуговування трьох верстатів прийнята уніфікована компоновка, що згідно з класифікацією (рис. 4.4) описується такими ознаками:  $a=1$ ;  $b=1$ ;  $c=2$ ;  $d=1$ ;  $e=1$ ;  $f=2$ ;  $g=3$ ;  $h=2$ . З урахуванням необхідної вантажопідйомності і точності позиціонування вибираємо за каталогом промислових робот СМ40Ф2.80.01. Його основні характеристики згідно з позначеннями, прийнятими в розд. 4.2:

$$R_j = 10800 \text{ мм}; t_{\text{min}j} = 740 \text{ мм}; t_{\text{max}j} = 1550 \text{ мм};$$

$$t_j = 810 \text{ мм}; C_j = 2545 \text{ мм}; r_j = 2540 \text{ мм};$$

$$B_j = 40 \text{ кг}; \Delta_j = 1 \text{ мм};$$

$$\xi_j = 0; \xi_j = 1; \eta_j = 0; \theta_j = 1.$$

Для технологічного обладнання вихідні дані наведені в табл. 4.7.

## Результати розрахунку варіантів РТК

$l$	$\rho$	$x$	$P(x)$	$k_C$	$k_T$		
1.1.	0,089	0	0,761	0,91	0,239		
		1	0,20				
		2	0,03				
		3	0,003				
1	1.2	1.2.1.	0	0,87	0,93	0,92	0,13
			1	0,117			
		1.2.2.	2	0,009	0,91		0,09
			0	0,91			
	1.3	1.3.1	0	0,93	0,93	0,925	0,07
			1	0,07			
		1.3.2	0	0,91	0,91		0,09
			1	0,09			
	2	2.1	0	0,80	0,93	0,2	
			1	0,17			
2			2,02				
3			0,002				
2.2.1	2.2.2	0,05	0	0,95	0,95	0,05	
			1	0,05			
			2.2.3	1			0,05
3	0,19	0	0,84	0,84	0,16		
		1	0,16				
4	4.1	0,14	0	0,78	0,86	0,22	
			1	0,21			
			2	0,03			
	4.2.1	4.2.2.	0,1	0	0,91	0,91	0,09
				1	0,09		



Розглянемо можливість обслуговування роботом СМ40Ф2.80.01 трьох токарних верстатів (варіантів 1.1 декомпозиції графа  $\chi$ ).

Значення булевих змінних у цьому випадку  $\Psi_e=0$ ;  $x_e=1$ ;  $\lambda_e=1$ . Коефіцієнти  $k=0$ ;  $m=g=3$ ;  $p=g-1=2$ ; ( $L_P=500$  мм)  $x=g_i=3$ .

Згідно з правилом (1) математичної моделі (табл. 4.1),

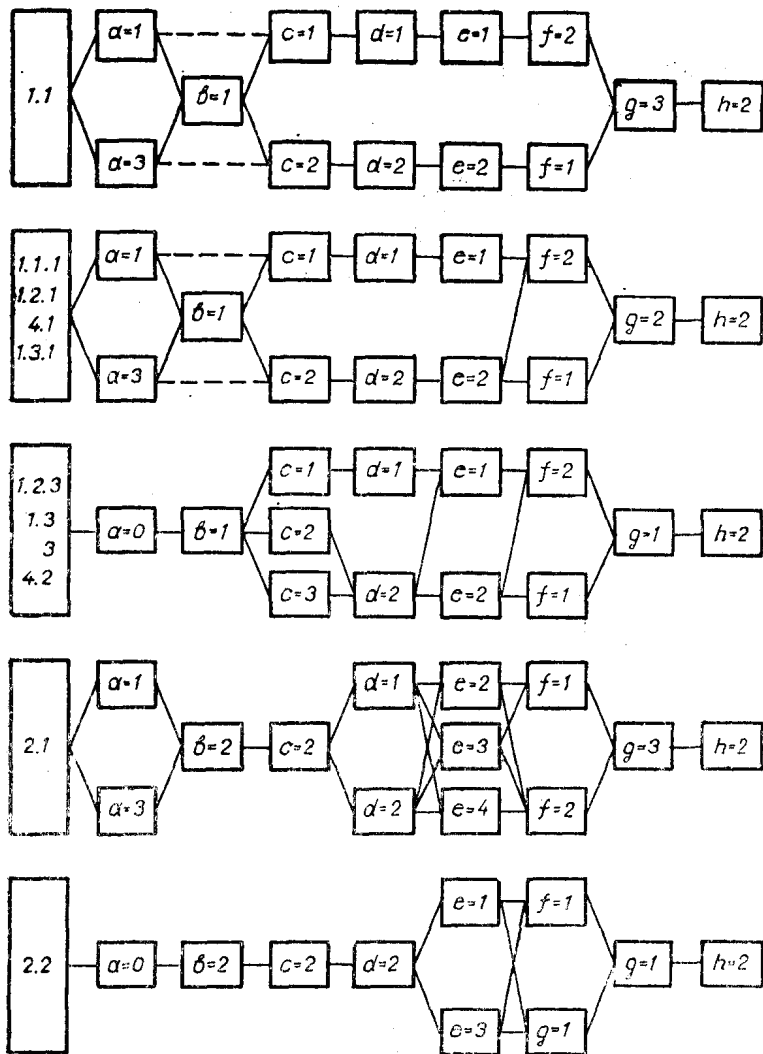


Рис. 4.14. Варіанти структурно-компоновочних рішень робототехнічних комплексів.

$$\sum_{k=1}^K \sum_{m=1}^M \sum_{p=1}^P \sum_{x=1}^X L_{об} = 800 \cdot 3 + 500 \cdot 2 + 2 \cdot 2800 + 4300 =$$

$$= 13300 > R_f = 10300.$$

Таким чином, умова (1) не виконується. Отже, розглянутий варіант практично реалізувати неможливо.

Таблиця 4.7

**Розмірні характеристики основного технологічного обладнання**

		L	B	H	l	b	h	a	u	g
Верстати	$x_1$	2800	1710	1750	710	180	200	750	400	980
	$x_2$	4300	2000	1850	1000	210	230	920	480	990
Накопичувачі		800	1250	1250	500	350	250	150	0	1000

Розглянемо варіант РТК 2.2.1, для якого значення бульових змінних такі ж, як і в попередньому випадку, а коефіцієнти  $k=0$ ;  $m=2$ ;  $p=1$ ;  $x=2$ .

Правило 1.

$$800 \cdot 2 + 500 \cdot 1 + 2 \cdot 2800 = 7700 \text{ (мм);}$$

$$7700 \text{ мм} < 10800 \text{ мм.}$$

Правило 3.

$$250_m < 810 \text{ (мм);}$$

$$250_x < 810 \text{ (мм).}$$

Правило 4.

$$(1000 + 250)_m - 980_x = 270 < 810 \text{ (мм).}$$

Правило 5.

$$\max] g_{x;k;m} [= 1000_m > 2545 - 1550 = 995 \text{ (мм).}$$

Правило 6.

$$\max] H_{x;h;m} [= 1750 < 2545 - 740 = 1805 \text{ (мм).}$$

Правило 7.

$$\max] B_i [= B_{12} = 12,5 \text{ кг} < B_j = 40 \text{ кг.}$$

Правило 8.

$$\min] \Delta_x [= 3^* \text{ мм} < 1 \text{ мм.}$$

\* Потрібна точність позиціонування деталі в трикулачному патроні становить 3...5 мм [1].

Таким чином, можливо, щоб ПР СМ40Ф2.80.01 обслуговував два верстати ІІБ11МФ30, які входять до складу РТК 1.2.1. Очевидно, що варіанти 1.2.2 і 1.2.3 також реалізуються.

На основі аналогічних розрахунків можна побудувати схему конкурентоспроможних варіантів компоновочної реалізації РТК, що комплектують ГАД (рис. 4.15). Тут розглядаються варіант, оптимальний за коефіцієнтом завантаження основного технологічного обладнання, що реалізується практично; варіант конкурентоспроможний; варіант, не прийнятний за однією з умов.

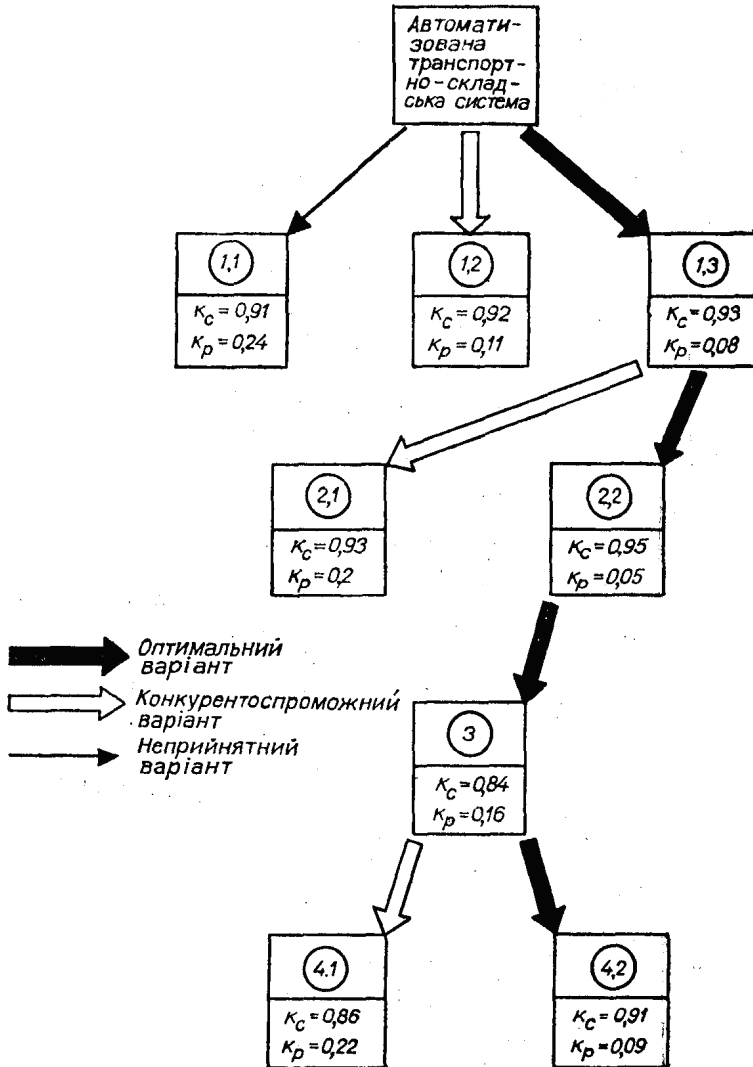


Рис. 4.15. Схема конкурентоспроможних варіантів компоновочної реалізації РТК, що комплектують ГАД.

#### 4.5.4. ВИЗНАЧЕННЯ ОПТИМАЛЬНИХ СТРУКТУРНО-КОМПОНОВОЧНИХ РІШЕНЬ ГАД

Гнучкі автоматизовані дільниці характеризуються наявністю в їх складі автоматизованої транспортно-складської системи, що матеріально та інформаційно пов'язує РТК, які виконують окремі технологічні операції. Для ГАД характерна маршрутна гнучкість. При формалізації задачі вибору альтернативних структурно-ком-

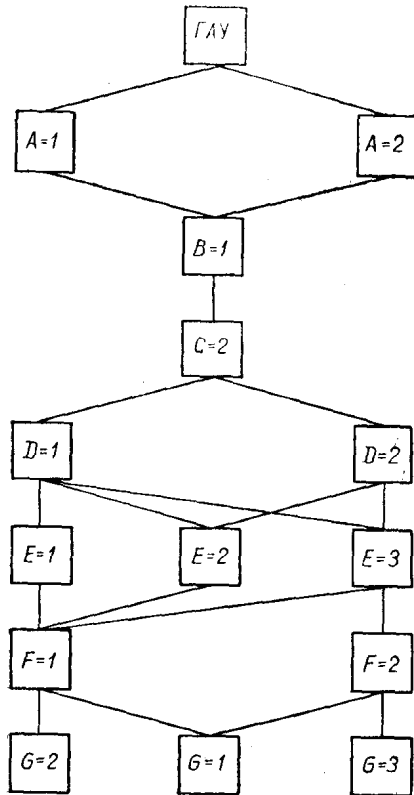


Рис. 4.16. Варіанти структури гнучкої автоматизованої дільниці.

поновочних рішень ГАД, слід використовувати рішення, що являють собою сукупність уніфікованих ознак, наведених на рис. 4.7. Варіанти структури і взаєморозміщення елементів ГАД, що є результатом об'єднання уніфікованих компонентних рішень РТК на основі матриці (див. табл. 4.2) і що не мають взаємовиключаючих ознак (див. табл. 4.4), подані на рис. 4.16.

Проведемо розрахунок завантаження транспортно-складської системи і комплектуючих ГАД робототехнічних комплектів для варіанта № 1, що характеризується наявністю ознак  $\langle A=1; B=$

$=1; C=2; D=1; E=1; F=1; G=1$  > і включає в себе РТК <1.3.1; 1.3.2; 1.3.3; 2.2.1; 2.2.2; 2.2.3; 3.1, 4.21; 4.2.2>.

Середньостатистична трудомісткість обробки деталей, що містяться в одній касеті, на обладнанні  $l$ -го РТК

$$T_{Цл} = \sum_{x=1}^{x_l} B_{xl} \cdot \bar{N}_1 + t_{перl} \frac{\bar{N}_1}{\bar{N}_2} + t_{підl} \cdot \frac{\bar{N}_1}{\bar{N}_3},$$

де  $B_{xl}$  — середньостатистична вага вершин графа  $\chi_l$  (рис. 4.13), які інтерпретують обладнання, що входить до складу  $l$ -го РТК;  $\bar{N}_1$  — середньостатистична місткість касети з деталями ( $\bar{N}_1=10$ );  $\bar{N}_2$  — середньостатистичне значення партії деталей ( $\bar{N}_2=100$ );  $t_{перl}$  — середня трудомісткість переналадки обладнання  $l$ -го РТК на випуск іншої деталі ( $t_{пер}=20$  хв);  $\bar{N}_3$  — кількість деталей, обробку яких проводять без підналадки ( $\bar{N}_3=20$ );  $t_{підl}$  — час підналадки обладнання  $l$ -го РТК ( $t_{під}=5$  хв);

$$T_{Ц.3.1} = T_{Ц.3.2} = B_{2.1} \cdot \bar{N}_1 + t_{пер} \frac{\bar{N}_1}{\bar{N}_2} + t_{під} \frac{\bar{N}_1}{\bar{N}_3} = 56,5 \text{ (хв)}.$$

Для інших РТК результати розрахунку подані в табл. 4.7. Середньостатистична тривалість обслуговування  $l$ -го РТК:

$$T_{обl} = \frac{1}{k_{ГТС}} [4t_{всl} + t_{тпl} + t_{тоl} + t_{псл} + t_{склl} + t_{склl}],$$

де  $t_{вс}$  — час встановлення — зняття деталі ( $t_{вс}=0,2$  хв);

$t_{тп}$  — час транспортування касети з деталями від попередньої позиції їх обробки або зі складу до позиції встановлення касети на  $l$ -му РТК;

$$t_{тп} = \frac{\sum_{j=0}^{l-1} S_{jl} \cdot \lambda_{jl} \cdot \beta_{jl}}{V_T \cdot \sum_{j=1}^{l-1} \lambda_{jl}},$$

де

$$\lambda_{jl} = \frac{\sum_{i=1}^{l+1} N_{ij} \cdot \beta_{ji}}{\sum_{i=1}^l N_{ii}}.$$

Складаємо матриці інцидентності  $\|\beta_{jl}\|$  і  $\|\beta_{ji}\|$  для цього варіанта  $\beta_{jl}=1$ , якщо здійснюється потік деталей з  $j$ -ї позиції в  $l$ -му,  $\beta_{jl}=-1$ , якщо деталі, згідно з узагальненим технологічним маршрутом, можуть надходити з  $l$ -ї позиції в  $j$ -у.

$$\lambda_{скл(1.3.1)} \frac{33200 \cdot 1}{119600} = 0,28.$$

Аналогічний розрахунок проводимо для  $\lambda_{jl}$ ,  $\lambda_{lj}$  ( $l=1, L$ ) і за- носимо в табл. 4.8.

Тоді

$$t_{TP(1.3.1)} = \frac{0,28 \cdot 2}{0,28 \cdot 60} = 0,03 \text{ хв}^*$$

Таблиця 4.8

**Результати розрахунку  $\lambda_{jl}$**

	Скл.	1.3.1	1.3.2	1.3.3	2.2.1	2.2.2	2.2.3	3.1	4.2.1	4.2.2
Склад	0	0,28	0,28	0,44	0	0	0	0	0,31	0,31
1.3.1	0,2	0	0	0	0,03	0,03	0,03	0	0	0
1.3.2	0,2	0	0	0	0,03	0,03	0,03	0	0	0
1.3.3	0,31	0	0	0	0,03	0,03	0,03	0	0	0
2.2.1	0,08	0	0	0	0	0	0	0,02	0	0
2.2.2	0,08	0	0	0	0	0	0	0,02	0	0
2.2.3	0,08	0	0	0	0	0	0	0,02	0	0
3.1	0	0	0	0	0,02	0,02	0,02	0	0	0
4.2.1	0,31	0	0	0	0	0	0	0	0	0
4.2.2	0,31	0	0	0	0	0	0	0	0	0

(приймаємо  $S_{скл-1.3.1} = 2$  м — відстань між автоматизованим скла- дом і позицією встановлення касет на РТК 1.3.1;  $V_T = 60$  м/хв — швидкість транспортування касети з заготовками від автоматизова- ного складу до РТК).

Результати розрахунку інших РТК подані в табл. 4.9.

Таблиця 4.9

**Матриця суміжності варіантів РТК**

	Склад	1.3.1	1.3.2	1.3.3	2.2.1	2.2.2	2.2.3	3.1	4.2.1	4.2.2
Склад	0	1	1	1	0	0	0	0	1	1
1.3.1	-1	0	0	0	1	1	1	1	0	0
1.3.2	-1	0	0	0	1	1	1	1	0	0
1.3.3	-1	0	0	0	1	1	1	1	0	0
2.2.1	0	-1	-1	-1	0	0	0	1	0	0
2.2.2	0	-1	-1	-1	0	0	0	1	0	0
2.2.3	0	-1	-1	-1	0	0	0	1	0	0
3.1	0	-1	-1	-1	-1	-1	-1	0	0	0
4.2.1	-1	0	0	0	0	0	0	0	0	0
4.2.2	-1	0	0	0	0	0	0	0	0	0

\* Підсумовування  $\sum_{j=1}^l \lambda_{jl}$  в даному випадку здійснюється по вертикалі.

Час транспортування касети з деталями з  $l$ -го РТК на наступну позицію їх обробки визначається за формулою

$$t_{TOl} = \frac{\sum_{i=1}^{L+1} [S_{ij} \cdot \beta_{ij} \cdot \lambda_{ij}]}{V_r \cdot \sum_{i=1}^{L+1} \lambda_{ij}}$$

Таблиця 4.10

**Результати розрахунку основних показників завантаження РТК**

РТК	$t_{yc}$	$t_{TP}$	$t_{TO}$	$t_{PC}$	$t_{CK}$	$t_{CKl}$	$T_{OB}$	$T_{Ц}$	$\rho$	$k'_{зн}$
1.3.1	0,2	0,03	0,08	0,23	0,12	0,58	2,84	56,5	0,050	0,11
1.3.2	0,2	0,08	0,09	0,22	0,12	0,58	2,91	56,5	0,051	0,11
1.3.3	0,2	0,12	0,12	0,16	0,12	0,58	2,92	80,5	0,036	0,21
2.2.1	0,2	0,09	0,11	0,13	0,12	0	1,98	1118,5	0,015	0,12
2.2.2	0,2	0,13	0,16	0,13	0,12	0	2,11	118,5	0,018	0,12
2.2.3	0,2	0,17	0,19	0,14	0,12	0	2,23	118,5	0,019	0,12
3.1	0,2	0,09	0,21	0,16	0,12	0	2,17	30,5	0,113	0,01
4.2.1	0,2	0,35	0,35	0,19	0,12	0,58	3,46	52,5	0,066	0,01
4.2.2	0,2	0,4	0,4	0,23	0,12	0,58	3,84	52,5	0,073	0,1

У цьому випадку сумування  $\sum_{i=1}^{L+1} \lambda_{ij}$  здійснюється по горизонталі:

$$t_{TO1.3.1} = \frac{2 \cdot 0,2 + 8 \cdot 0,03 + 10,5 \cdot 0,03 + 13 \cdot 0,03}{(0,2 + 0,03 + 0,03 + 0,03) \cdot 60} = 0,08 \text{ хв.}$$

Для інших РТК аналогічно визначаємо  $t_{TOl}$ . Результати розрахунку зведені в табл. 4.10.

Час обслуговування  $l$ -го РТК складською системою

$$t_{CKl} = \frac{t_{CKl} \cdot \lambda_{ol}}{\sum_{i=1}^L \lambda_{oi}}$$

Приймаючи  $t_{CKl} = \frac{2 S_{CKl}}{V_{Ш}} = \frac{2 \cdot 12}{42} = 0,58 \text{ (хв)}$ .

отримаємо для РТК 1.3.1\*:

$$t_{CK1.3.1} = \frac{0,58 \cdot 0,28}{0,28} = 0,58 \text{ (хв)}$$

\* Підсумовування  $\sum_{i=1}^L \lambda_{oi}$  здійснюється по вертикалі.

Для інших РТК результати розрахунку подані в табл. 4.10.  
Час під'їзду транспортуючого пристрою до РТК 1.3.1:

$$t_{\text{пс}, 3.1} = \frac{\sqrt{\frac{1}{L-1} \sum_{j=1}^L (S_{\text{п}})^2}}{V_{\text{T}}} =$$

$$= \frac{1}{9-1} (2,5^2 + 5^2 + 8^2 + 11,5^2 + 13^2 + 16^2 + 19^2 + 22^2)$$

$$= \frac{\quad}{60} = 0,23 (\text{хв})$$

Аналогічно визначаємо  $t_{\text{пс}}$  для інших РТК. Коефіцієнт готовності АТСС розраховується за формулою

$$k_{\text{ГТС}} = k_{\text{ГТ}}^{\psi} \cdot k_{\text{ГЛ}}^{\varphi} \cdot k_{\text{ГШ}}^{\theta}$$

У даному випадку  $k_{\text{ГТ}} = 0,9$ ;  $k_{\text{ГЛ}} = 0,95$ ;  $k_{\text{ГШ}} = 0,85$ ;

$$\Psi = 1; \varphi = 2; \theta = 0.$$

Таким чином,  $k_{\text{ТО}} = 0,69$ .

$$\text{Тоді } \bar{T}_{\text{об}} = \sum_{i=1}^L T_{\text{об}_i} \cdot k'_{\text{зн}_i} = 2,76 (\text{хв});$$

$$\bar{T}_{\text{ц}} = \sum_{i=1}^L T_{\text{ц}_i} \cdot k'_{\text{зн}_i} = 68,58 (\text{хв});$$

$$\rho = 0,04.$$

Згідно з формулами, поданими у розділі 4.3, визначаємо ймовірності простою робототехнічних комплексів:

$$P_0 = (1 + 9\rho + 72\rho^2 + 504\rho^3 + 3024\rho^4 + 3024\rho^5 +$$

$$+ 15120\rho^6 + 60480\rho^7 + 181440\rho^8 + 362880\rho^9) = 0,66;$$

$$P_1 = 8 \cdot P_0 \cdot \rho = 0,21;$$

$$P_2 = 7 \cdot P_1 \cdot \rho = 0,06;$$

$$P_3 = 6 \cdot P_2 \cdot \rho = 0,02;$$

$$P_4 = 5 \cdot P_3 \cdot \rho = 2,8 \cdot 10^{-3};$$

$$P_5 = 4 \cdot P_4 \cdot \rho = 4,5 \cdot 10^{-4};$$

$$P_6 = 3 \cdot P_5 \cdot \rho = 5,4 \cdot 10^{-5};$$

$$P_7 = 2 \cdot P_6 \cdot \rho = 4,3 \cdot 10^{-6};$$

$$P_8 = P_7 \cdot \rho = 1,7 \cdot 10^{-7}.$$

Коефіцієнт завантаження робототехнічних комплексів:

$$k_{\text{М}} = 1 - \frac{1}{9} (0,21 + 2 \cdot 0,06 + 3 \cdot 0,02 + 4 \cdot 2,8 \cdot 10^{-3} +$$

$$+ 5 \cdot 4,5 \cdot 10^{-4} + 6 \cdot 5,4 \cdot 10^{-5} + 7 \cdot 4,3 \cdot 10^{-6} + 8 \cdot 1,7 \cdot 10^{-7}) = 0,95.$$

Коефіцієнт завантаження АТСС:  $k_{\text{T}} = 1 - P_0 = 0,34$ .



## Коефіцієнти завантаження елементів ГВС

№ варіанта	$\rho$	$l$	$P(l)$	$k_M$	$k_T$	$k_M + \frac{\rho}{k_T}$
1	2	3	4	5	6	7
1	0,04	0	0,66	0,95	0,34	1,17
		1	0,21			
		2	0,06			
		3	0,02			
		4	$2,8 \cdot 10^{-3}$			
		5	$4,5 \cdot 10^{-4}$			
		6	$5,4 \cdot 10^{-5}$			
		7	$4,3 \cdot 10^{-6}$			
8	$1,7 \cdot 10^{-7}$					
2	0,08	0	0,38	0,89	0,62	1,25
		1	0,24			
		2	0,14			
		3	0,07			
		4	0,03			
		5	$8,4 \cdot 10^{-3}$			
		6	$2 \cdot 10^{-3}$			
		7	$3,2 \cdot 10^{-4}$			
8	$2,5 \cdot 10^{-5}$					
3	0,11	0	0,52	0,90	0,48	1,34
		1	0,23			
		2	0,08			
		3	0,02			
		4	$5,6 \cdot 10^{-3}$			
4	0,15	0	0,41	0,88	0,69	1,39
		1	0,24			
		2	0,11			
		3	0,03			
		4	$5,6 \cdot 10^{-3}$			

1	2	3	4	5	6	7
5	0,07	0	0,44	0,91	0,56	1,22
		1	0,24			
		2	0,12			
		3	0,05			
		4	0,02			
		5	$4,9 \cdot 10^{-3}$			
		6	$1 \cdot 10^{-3}$			
		7	$1,5 \cdot 10^{-4}$			
		8	$1 \cdot 10^{-5}$			
6	0,17	0	0,59	0,92	0,41	1,25
		1	0,20			
		2	0,03			

Аналогічні розрахунки здійснюються для інших варіантів структурно-компоновочних рішень ГАД. Результати розрахунку наведені в табл. 4.11. Описаний вище приклад позначений як варіант № 1.

Варіант № 2. Класифікаційний код  $\langle A=1; B=1; C=2; D=1; E=1; F=1; G=2 \rangle$ .

(Відмінна риса — наявність двох автоматизованих складів).

Варіант № 3.  $\langle A=1; B=1; C=2; D=1; E=2; F=1; G=1 \rangle$ .

(Відмінна риса — наявність двох транспортних систем).

Варіант № 4.  $\langle A=1; B=1; C=2; D=1; E=2; F=1; G=2 \rangle$ .

(Відмінна риса — наявність двох транспортних систем і двох автоматизованих складів).

Варіант № 5.  $\langle A=2; B=1; C=1; D=2; E=1; F=2; G=1 \rangle$ .

(Відмінна риса — розташування обладнання вздовж складу і використання робота-штабелера як транспортної системи).

Варіант № 6.  $\langle A=2; B=1; C=2; D=1; E=3; F=3; G=3 \rangle$ .

(Відмінна риса — наявність трьох автоматизованих складів, між якими розміщуються групи обладнання, сполучені зі складом за допомогою перевантажувальних пристроїв).

Аналіз результатів, поданих у табл. 1, дає змогу зробити висновок, що варіант № 1 буде оптимальним за критерієм завантаження обладнання. Інші варіанти можуть вважатися конкурентоспроможними, оскільки для них виконується умова  $k_M > 0,8$ .

**4.5.5. ЕКОНОМІКО-МАТЕМАТИЧНИЙ АНАЛІЗ  
СТРУКТУРНО-КОМПОНОВОЧНИХ РІШЕНЬ ГАД  
ОБРОБКИ ДЕТАЛЕЙ ТИПУ «ВАЛ» І «ВАЛ—ШЕСТИРНЯ»**

Метою даного дослідження є пошук оптимальних технологічних і структурно-компонувочних рішень ГАД, реалізація яких дала б змогу отримати найбільший економічний ефект за рахунок підвищення продуктивності праці, вибору раціонального складу обладнання і його ефективного використання. Таким чином, завершальним і найбільш відповідальним етапом є дослідження економіко-математичної моделі ГАД, яка об'єднує всі попередні критерії в єдиний на основі системного аналізу технологічних рішень.

Таблиця 4.12

Матриця  $a_{jm}$

	$b'_2$	$b''_3$	$b_{12}$	$a_4$	$b_5$	$b_7$
$X_1$	1	0	0	0	0	0
$X_2$	1	0	0	0	0	0
$X_3$	0	1	0	0	0	0
$X_4$	0	0	1	0	0	0
$X_5$	0	0	1	0	0	0
$X_6$	0	0	1	0	0	0
$X_7$	0	0	0	1	1	0
$X_8$	0	0	0	0	0	1
$X_9$	0	0	0	0	0	1

Таблиця 4.13

Витрати на 1 год роботи основного технологічного обладнання

	$C_{zn}$	$C_F$	$C_{дм}$	$C_{MI}$	$C_{PI}$	$C_A$	$C_P$	$C_{PR}$	$C_X$
$x_1, x_2$	0,75	0,3	0,15	0,3	0,45	0,3	0,2	0,1	2,35
$x_3$	0,85	0,5	0,15	0,3	0,50	0,42	0,4	0,1	3,22
$x_4, x_5, x_6$	0,35	0,65	0,3	0,55	0,85	0,35	0,1	0,25	3,4
$x_7$	0,62	0,55	0,1	0,25	0,4	0,8	0,4	0,35	3,47
$x_8, x_9$	0,7	0,50	0,1	0,9	0,65	0,47	0,3	0,2	3,82

Таблиця 4.14

Витрати на 1 год роботи допоміжного обладнання

	$C_{zn}$	$C_F$	$C_A$	$C_P$	$C_{PR}$	$C_{y, n, q}$
$y_1, y_2, y_3$	0,42	0,25	0,35	0,4	0,05	1,47
$y_4 - y_9$	0,55	0,4	0,45	0,5	0,05	1,95
$n$	0,5	0,3	0,25	0,8	0,1	1,95
$q$	0,4	0,45	0,3	0,65	0,1	1,9

## Результати розрахунку економічної ефективності ГВС

№ варіанта		1	2	3	4	5	6
Елементи витрат		1	2	3	4	5	6
		2	3	4	5	6	7
Середньоста- тистична трудо- місткість техно- логічних опера- цій, хв	Токарний (1-й діапа- зон)	2,6	2,6	2,6	2,6	2,6	2,6
	Токарний (2-й і 3-й діапазон)	3,8	3,8	3,8	3,8	3,8	3,8
	Зубофре- зерний	5,7	5,7	5,7	5,7	5,7	5,7
	Шліфу- вальний	2,4	2,4	2,4	2,4	2,4	2,4
	Свердиль- но-фре- зерний	1,3	1,3	1,3	1,3	1,3	1,3
Середньостатистична тру- домісткість обслуговування АТСС одного РТК		2,76	5,48	7,54	10,28	4,8	5,0
Вартість 1 ма- шино-години роботи устат- кування, крб/год	$x_1, x_2$	2,35	2,35	2,35	2,35	2,35	2,35
	$x_3$	3,22	3,22	3,22	3,22	3,22	3,22
	$x_4, x_5, x_6$	3,4	3,4	3,4	3,4	3,4	3,4
	$x_7$	3,47	3,47	3,47	3,47	3,47	3,47
	$x_8 + x_9$	3,82	3,82	3,82	3,82	3,82	3,82
	$n$	1,47	1,47	1,47	1,47	1,47	1,47
	$q$	3,85	3,85	3,85	3,85	3,85	3,85
Балансова вартість устат- кування, тис. крб	$x_1 + x_2 + x_3$	94	94	94	94	94	94
	$x_4 + x_5 + x_6$	36	36	36	36	36	36
	$x_7$	30	30	30	30	30	30
	$x_8 + x_9$	52	52	52	52	52	52
	$n$	12	12	24	24	0,2	0,4
	$q$	18	36	18	36	40	32
Максимальні витрати, тис. крб.		328	347	343	359	339	321
Приведені витрати, тис. крб.		88,0	91,7	91,1	94,0	89,8	86,4

Розглянемо детально варіант № 1 ГАД, що складається з РТК 1.3.1, 1.3.2, 1.3.3, 2.2.1, 2.2.2, 2.2.3, 3.1, 4.2.1, 4.2.2, Згідно з позначеннями для формалізації вхідних даних, приймаємо  $L=9$ ;  $N=1$ ;  $Q=1$ ;  $I=19$ ;  $B_M=7$ ;  $X=9$ ;  $Y=9$ .

Матриця  $\|a_{jm}\|$  набуде вигляду табл. 4.12. (позначення технологічних операцій — згідно з прийнятими вище позначеннями на рис. 4.12).

Оскільки у даному випадку  $X=Y=L$ ;  $v_{xl}=1$  при  $x=l$ ;  $\tau_{xy}=1$  при  $x=y$  ( $x, y, l = 1, 9$ );  $\varepsilon_{xl} = 1$  для всіх  $l = 1, \dots, 9$ .

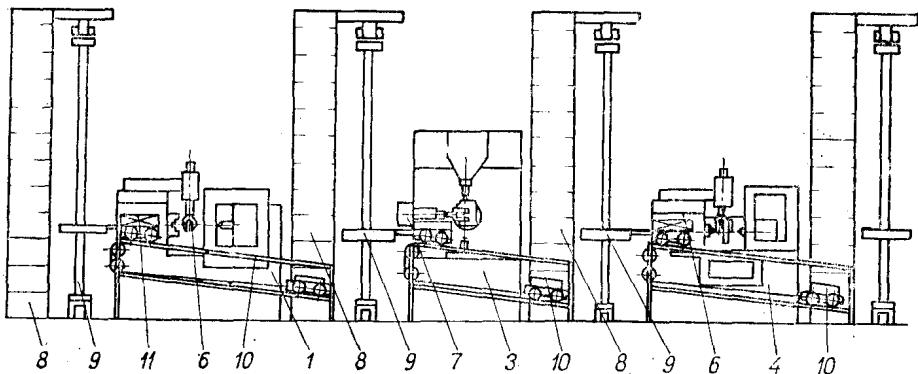


Рис. 4.17. Оптимальне структурно-компоновочне рішення гнучкої автоматизованої дільниці:

1 — токарний верстат з ЧПУ (1И611МФ30); 2 — токарний верстат з ЧПУ (1720ПФ30); 3 — зубофрезерний напівавтомат (А140Ф2); 4 — шліфувальний верстат з ЧПУ (ЗМ151Ф2); 6 — промисловий робот «Електроніка НЦТМ-01»; 7 — промисловий робот М10П62.01; 8 — стелажі автоматизованого складу; 9 — робот-штабелер; 10 — гравітаційний перевантажувач касет; 11 — касета з деталями.

Визначення розмірів приведених витрат здійснюється на основі нормативного методу [4, 17], що полягає у визначенні основної частини непрямих витрат (пов'язаних з утриманням у належному стані і експлуатацією обладнання) за питомими витратами, що припадають на 1 верстатогодину роботи відповідної структурної одиниці процесу ГАД, з наступним сумуванням витрат по операціях технологічного процесу. Поточні витрати, що припадають на 1 год роботи  $x$ -ї одиниці основного технологічного обладнання:

$$C_x = C_{ЗП_x} + C_{Е_x} + C_{ДМ_x} + C_{М_x} + C_{РІ_x} + C_{А_x} + C_{Р_x} + C_{ПР_x},$$

де витрати  $C_x$  (табл. 4.13) поділяються на такі елементи:  $C_{ЗП}$  — зарплата наладчиків;  $C_E$  — витрати на електроенергію;  $C_{ДМ}$  — витрати на допоміжні матеріали;  $C_M$  — витрати на вимірювальний інструмент та засоби активного контролю;  $C_{РІ}$  — витрати на ріжучий інструмент;  $C_A$  — амортизаційні відрахування;  $C_P$  — витрати на ремонт обладнання;  $C_{ПР}$  — витрати на пристрої.

Поточні витрати, що припадають на 1 год роботи промислового робота, транспортної та складської систем (табл. 4.14):

$$C_y = C_{ЗП_y} + C_E + C_{А_y} + C_P + C_{ПР_y}.$$

Результати кінцевого розрахунку економіко-математичної моделі для шести варіантів структурно-компоновочних рішень ГАУ, подані в табл. 4.15. З результатів розрахунку видно, що умову найменших приведених витрат задовольняє 6-й варіант, практична реалізація компоновочного рішення якого показана на рис. 4.17.

1. *Автоматизированные технологические комплексы «оборудование — робот»*: Метод. рекомендации. М., 1981.
2. *Пуш В. Э., Пичерт Р., Сосонкин В. Л.* Автоматические станочные системы / Под общ. ред. Пуша В. Э. М., 1982.
3. *Башарин Г. П., Толмачев А. Л.* Теория сетей массового обслуживания и ее применение к анализу информационно-вычислительных систем // Итоги науки и техники. Сер. Теория вероятностей. Математическая статистика. Теоретическая кибернетика. М., 1983. Т. 21. С. 3—199.
4. *Васильев В. Н.* Организация, управление и экономика гибкого интегрированного производства в машиностроении. М., 1986.
5. *Волчкевич Л. И.* Надежность автоматических линий. М., 1969.
6. *Дружинин Г. В.* Надежность автоматизированных производственных систем. М., 1986.
7. *Лищинский Л. Ю.* Цикличность производственных процессов в ГАП // Станки и инструмент. 1986. № 7. С. 2—6.
8. *Марголит Р. Б.* Наладка станков с числовым программным управлением. М., 1983.
9. *Морозов А. И.* Компоновки одностаночных РТК токарной обработки // Механизация и автоматизация производства. 1986. № 4. С. 4—6.
10. *Азбель В. О., Звоницкий А. Ю., Каминский В. Н. и др.* Организационно-техническое проектирование ГПС / Под общ. ред. Митрофанова С. П., Л., 1986.
11. *Пономаренко Л. А., Адамович Л. В., Тимофеев Б. Б. и др.* Основы создания гибких автоматизированных производств / Под. общ. ред. Тимофеева Б. Б. К., 1986.
12. *Саати Т. Л.* Элементы теории массового обслуживания и ее приложения. М., 1971.
13. *Типовые комплексно-автоматизированные участки типа АСВ из оборудования с ЧПУ с применением ЭВМ*: Метод. рекомендации. М., 1985.
14. *Бойко Е. И., Бондарев И. И., Маслова Н. В.* Управление техническим развитием производственных систем. Львов, 1985.
15. *Четыркин Е. И.* Статистические методы прогнозирования. М., 1977.
16. *Меннон Р.* Имитационное моделирование систем — искусство и наука / Пер. с англ. Под ред. Масловского Е. К. М., 1978.
17. *Козловский В. А., Козловская Э. А., Макаров В. М.* Эффективность перенастраиваемых роботизированных производств. Л., 1985.

## ПРОЕКТУВАННЯ І СТВОРЕННЯ ГВС В УМОВАХ ДІЮЧОГО ВИРОБНИЦТВА

### 5.1. Основні етапи проектування ГВС

Системне проектування ГВС, що реалізує принцип багаторівневої оптимізації технологічних і структурно-компоновочних рішень, включає в себе 7 етапів:

1. Підбір деталей, що підлягають обробці на ГВС, і прогнозування динаміки зміни конструкторсько-технологічних характеристик виробів майбутнього виробництва.
2. Класифікація оброблюваних деталей.
3. Формування і структурно-параметрична оптимізація технологічних процесів обробки деталей класифікаційного ряду.
4. Визначення кількісного і якісного складу основного технологічного обладнання ГВС.
5. Вибір альтернативних і конкурентоспроможних варіантів структур гнучких виробничих модулів (або робототехнічних комплексів).
6. Визначення конкурентоспроможних варіантів структурно-компоновочних рішень ГВС.
7. Вибір оптимального варіанта комплексу технологічних і структурно-компоновочних рішень ГВС.

Блок-схема алгоритму, що реалізує ці етапи, зображена на рис. 5.1. Початковим етапом проектування є встановлення номенклатури деталей, що підлягатимуть обробці на обладнанні дільниці. До деталей ставляться вимоги однотипності, технологічності, максимального рівня ідентичності показників точності, шорсткості, конструктивної одноманітності. Часто в умовах дрібносерійного виробництва не вдається точно встановити номенклатуру деталей майбутнього виробництва. Для подолання початкової невизначеності, що викликана повною або частковою відсутністю інформації про деталі, що підлягатимуть обробці на ГВС, слід використати методи наукового прогнозування (блок 2, рис. 5.1). В результаті передпроектних досліджень буде отриманий найбільш реальний варіант складу оброблюваних деталей за точнісними ( $P_{ti}$ ), розмірно-ваговими ( $P_{iv}$ ) характеристиками і конструктивними особливостями ( $P_{hi}$ ). Це дасть змогу з певним ступенем достовірності отримати картину динаміки зміни кількісних і якісних характеристик деталей, обробка яких має здійснюватися на обладнанні ГВС. Методика такого аналізу викладена у п. 5.2.

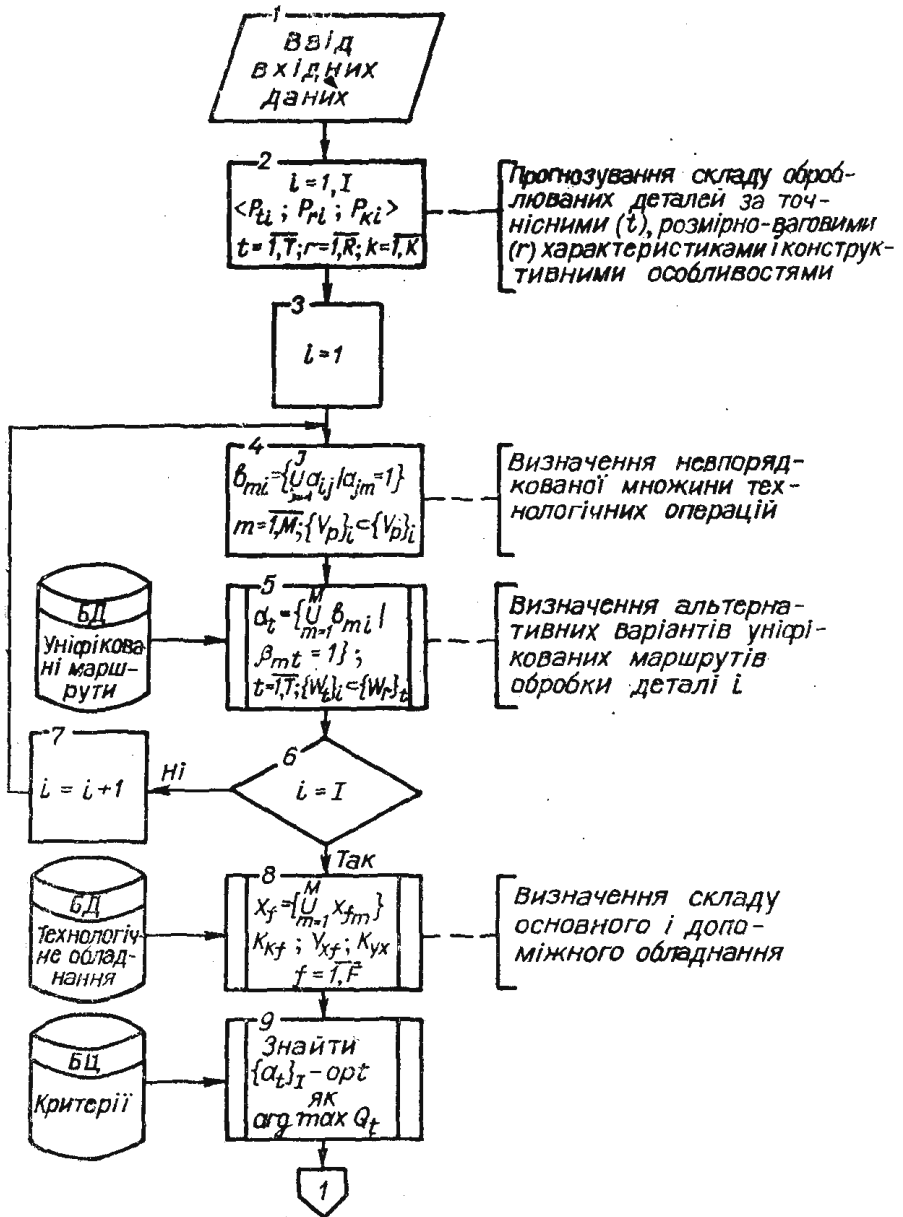


Рис. 5.1. Блок-схема узагальненого алгоритму проектування оптимальних технологічних та структурно-компонувочних рішень ГВС.



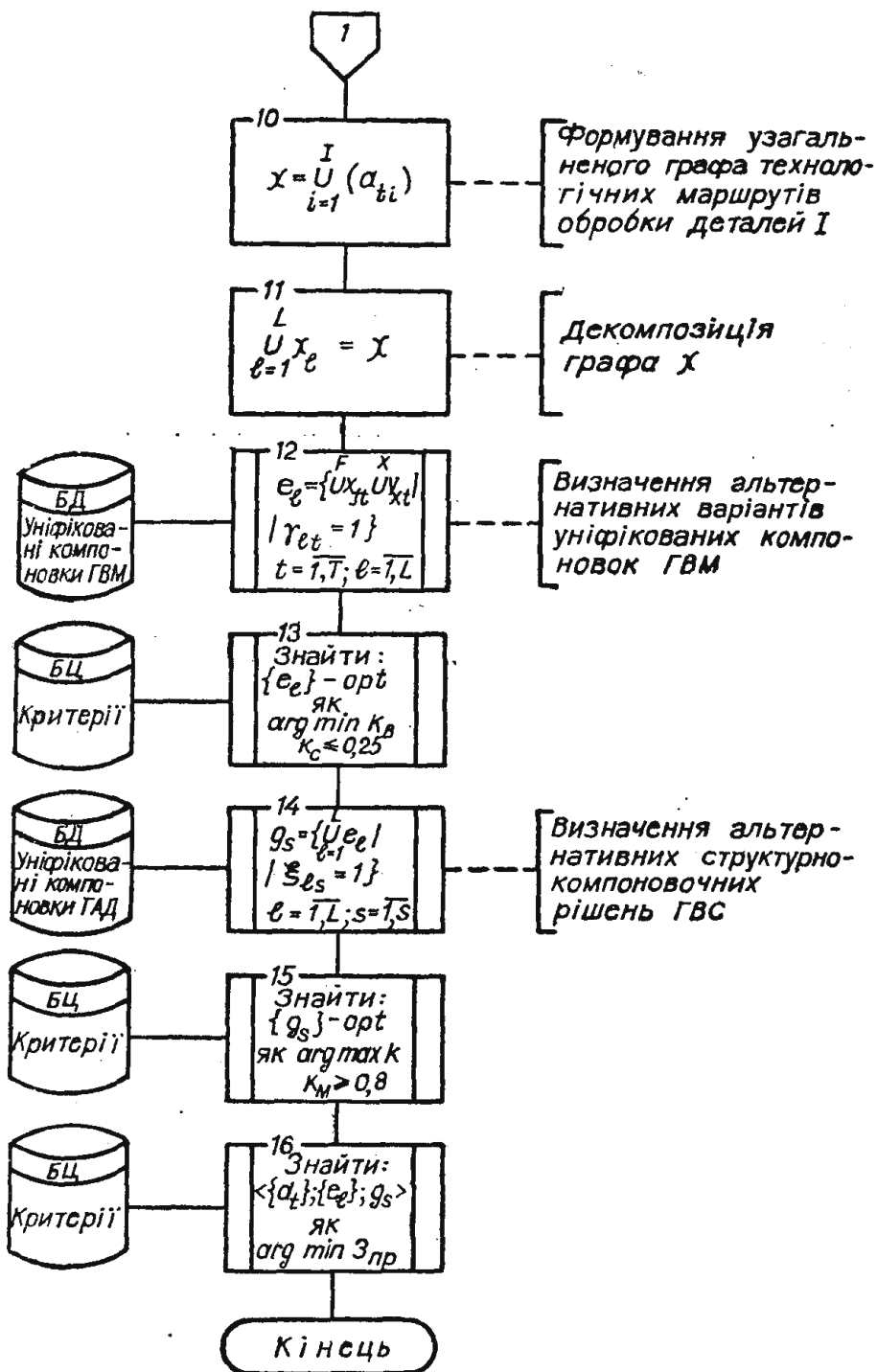


Рис. 5.1.

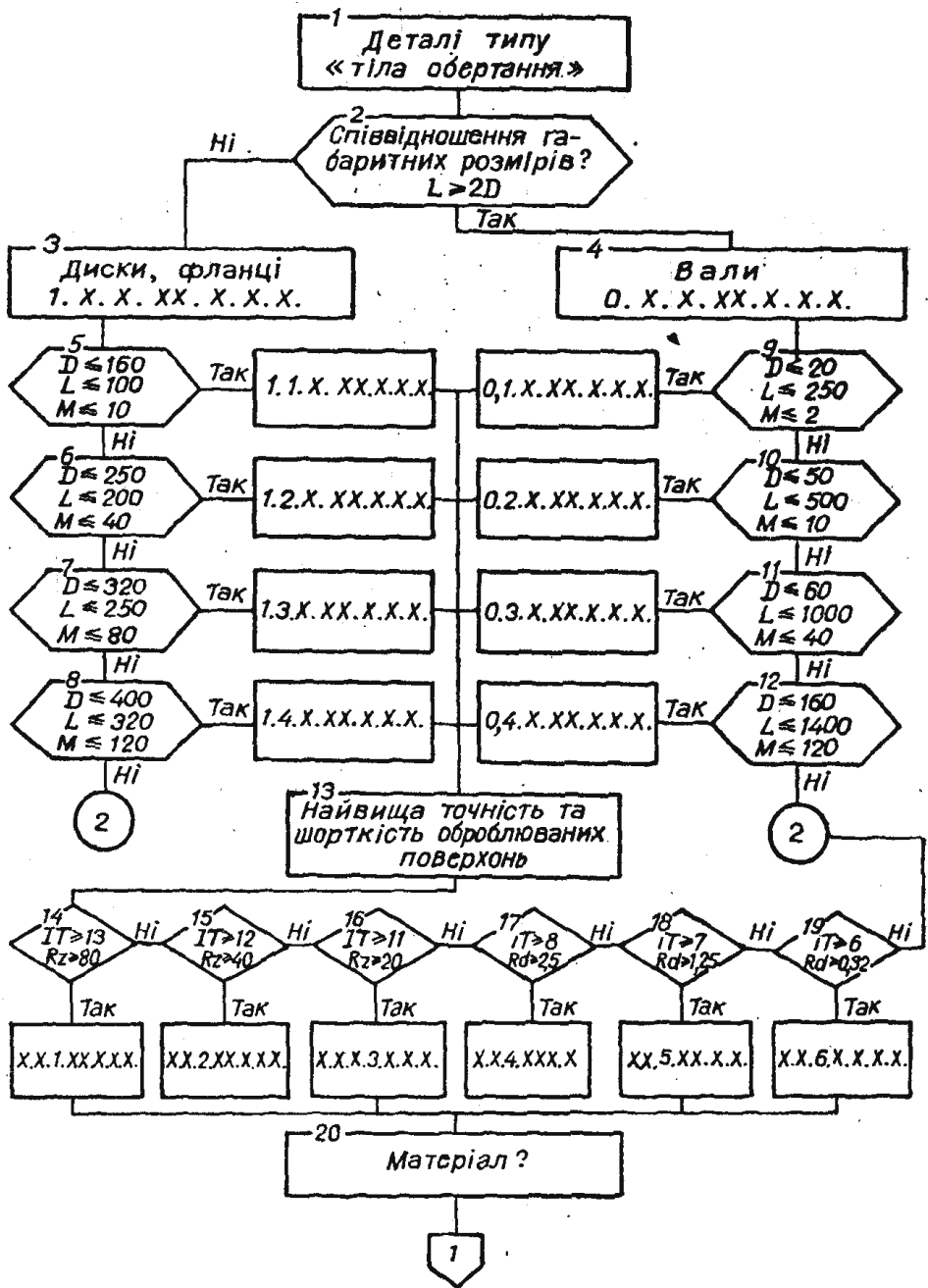
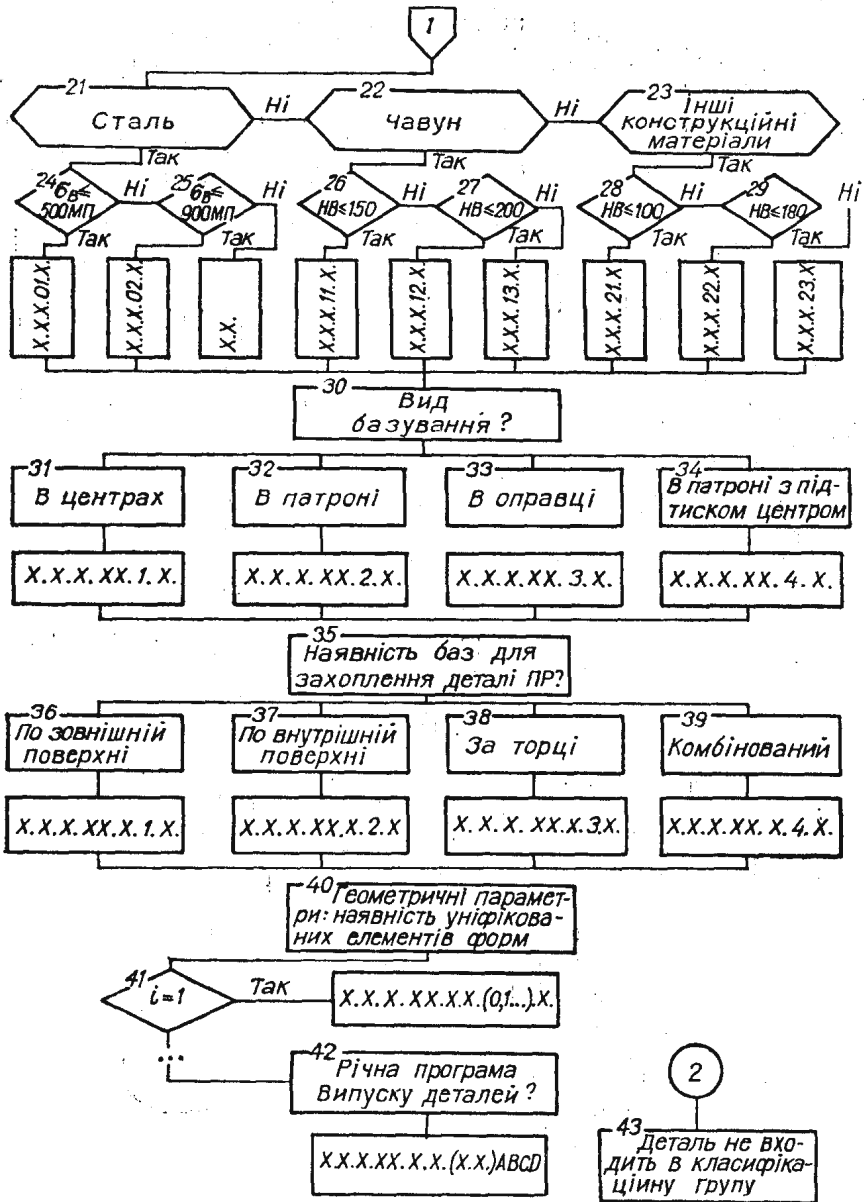


Рис. 5.2. Алгоритми конструкторсько-технологічної



класифікації деталей, що обробляються на ГВС.

Класифікація деталей, що дає змогу встановити і впорядкувати вхідні дані для розв'язання задачі технологічного проектування, є необхідним етапом у реалізації поставленого завдання. Роботи по класифікації об'єктів механоскладального виробництва проводяться у двох напрямках [4, 7]: створення конструкторського і створення технологічного класифікаторів. При цьому технологічна класифікація передбачає групування деталей за наявністю деяких сукупностей поверхонь ( $Uq_j$ ), що дає змогу встановити уніфіковані технологічні переходи їх обробки ( $a_{ij}$ ), з комбінацій яких визначається склад технологічних операцій:

$$b_{ni} = \left\{ \bigcup a_{ij} \mid a_{j,n} = 1 \right\} \quad (\text{блок 4, рис. 5.1}).$$

На рис. 5.2 поданий алгоритм конструкторсько-технологічної класифікації деталей типу «тіла обертання».

Згідно з ознаками 3—4, вони поділяються на вали і фланці. За кожним видом, згідно з ознаками 5-34, визначаються групові представники. Таким чином, класифікаційні ознаки визначають множину «елементарних технологій» обробки елементів форм кожної  $i$ -ї деталі. Вони характеризуються однаковими конструктивними ознаками (блоки 2-12, 21-34), визначеним діапазоном геометричних параметрів оброблюваних деталей (41), однаковими вимогами до точності і якості оброблюваних поверхонь деталей (13—19).

Основною характеристикою, що описує деталь, є геометрична форма. З метою її формального опису слід використати уніфіковані елементи форм, повний набір котрих дає змогу найбільш точно сформулювати геометричну структуру довільної деталі класифікаційного ряду. На рис. 5.3 показані уніфіковані елементи форм деталей типу «тіла обертання». Їх можна розділити на елементи зовнішнього контура (1—19, 37—51) і елементи внутрішнього контура (20—36). Геометрична форма деталей типу «тіла обертання» передбачає використання основних елементів — циліндричних, конічних поверхонь і торців (1—3, 8, 20, 21, 26, 34); спрягаючих поверхонь—фаски, галтелі, (4, 5, 15, 23—26); додаткових елементів — канавок, виточок, різьб (9—14, 16—19, 28—33), а також спеціальних профілів — шпоночних пазів (37—39), отворів, що перпендикулярні або знаходяться під кутом до осі обертання деталі (34—36, 43—45), лисок (40—42), зубчастого (48) і шліцьового (49) профілю, шестикутного (51) або квадратного (50) перерізу валу.

Така геометрична модель деталі забезпечує чітку формалізацію технології обробки і зручний її опис для діалогового вводу інформації в ЕОМ. Варіант уніфікованого технологічного переходу при обробці  $i$ -ї деталі вибирають на основі аналізу даної сукупності уніфікованих елементів форм  $\{q_i\}$  з відповідними технологічними ознаками (точністю  $V_{1j}$  і шорсткістю  $V_{2j}$ ):

$$a_{ij} = \bigvee_{j=1}^J q_j (\wedge V_{pj}).$$

Такий аналіз здійснюється на основі табличних алгоритмів (табл. 5.1), що встановлюють взаємозв'язок між підмножиною уніфікованих елементів форм і технологічними переходами ( $a_{ij}$ ), що реалізують елементарну технологію.

Типовий представник класифікаційного ряду деталей типу «вал—шестірня» зображений на рис. 5.4. Згідно зі схемою (див. рис. 5.2), класифікаційний код цієї деталі: 0.3.6.02.4.1./01.02.03.13.14.15.32.38.48/7000.

При відсутності можливості отримання потрібної точності кожної  $j$ -ї поверхні деталі з одного переходу слід використати метод визначення послідовності технологічних переходів, запропонований Б. С. Балакшиним [2]. Суть такого методу полягає у визначенні найменшої кількості переходів, що забезпечує отримання потрібної точності всіх  $q_j$  елементів форм. При цьому дотримується умова

$$\bigvee \varepsilon_{Bj} = \prod \varepsilon_{sj}; \quad s \rightarrow \min,$$

де  $\varepsilon_{Bj}$  — уточнення, якого необхідно дотримуватися при обробці заготовки для досягнення необхідних ознак структури  $\{V_{pj}\}$  кожного  $q_j$ -го ( $j = \overline{1, J}$ ) елемента форми;  $\varepsilon_{sj}$  — уточнення, що отримуємо в результаті  $s$ -го технологічного переходу;  $s$ —*var* — змінна кількість технологічних переходів, необхідних для досягнення потрібної точності і шорсткості поверхонь деталі.

Уточнення  $\varepsilon_{Bj}$  визначається відношенням допуску заготовки  $\rho_z$  і допуску  $\rho_{Bj}$ , необхідного на розмір  $j$ -ї поверхні.

$$\varepsilon_{Bj} = \frac{\rho_z}{\rho_{Bj}}.$$

Послідовність розв'язання поставленої задачі передбачає спочатку визначення останнього переходу, який забезпечує потрібну шорсткість і точність поверхні при відхиленні форми в межах допуску, що вимагається по кресленню деталі ( $\delta_{Bj}$ ) і відповідного йому уточнення  $\varepsilon_{1j}$  при умові, що економічно доцільний допуск на обробку знаходиться у встановлених межах  $\delta_{1j}$  [9]:

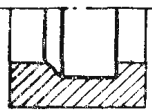
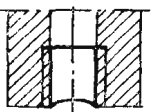
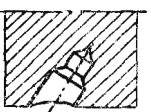

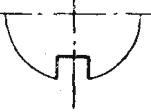




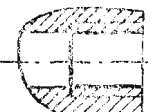

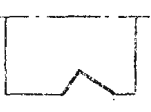

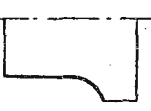


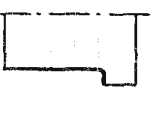
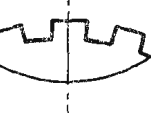



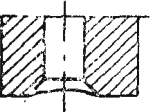


$$\varepsilon_{1j} = \frac{\rho_{1j}}{\rho_{\tau j}}.$$

Значення уточнення, що залишилось ( $\Delta\varepsilon = \frac{\varepsilon_{Bj}}{\varepsilon_{1j}}$ ), розкладається на  $(s-1)$  складових, які характеризують відповідні попередні, чорнові та напівчистові переходи, і при цьому виконується вихідна умова:

$$\varepsilon_{Bj} = \prod \varepsilon_{sj}.$$

Позн.	Уніфіковані елементи форм	Прим.	Позн.	Уніфіковані елементи форм	Прим.	Позн.	Уніфіковані елементи форм	Прим.
q <sub>1</sub>			q <sub>10</sub>		t > 1 b > 8	q <sub>19</sub>		
q <sub>2</sub>			q <sub>11</sub>		t > 1 b > 8 R > 1	q <sub>20</sub>		
q <sub>3</sub>		R < 0,5	q <sub>12</sub>		t > 1 b > 8	q <sub>21</sub>		
q <sub>4</sub>		R > 1	q <sub>15</sub>		R < 8	q <sub>22</sub>		
q <sub>5</sub>			q <sub>14</sub>		b < 8	q <sub>23</sub>		
q <sub>6</sub>		R > 1	q <sub>15</sub>			q <sub>24</sub>		
q <sub>7</sub>		R > 1	q <sub>16</sub>		b < 8	q <sub>25</sub>		b < 6
q <sub>8</sub>		b > 6	q <sub>17</sub>		b < 8	q <sub>26</sub>		b > 5
q <sub>9</sub>		b ≤ 1 b > 8	q <sub>18</sub>		b < 8	q <sub>27</sub>		

Рис. 5.3. Уніфіковані елементи форм деталей типу «тіла обертання».

Позн.	Уніфіковані елементи форм	Прим.	Позн.	Уніфіковані елементи форм	Прим.	Позн.	Уніфіковані елементи форм	Прим.
936			936			944		
935			937			945		
920			938			946		
931			939			947		
932			940			948		
933			941			949		
934			942			950		
935			943			951		

**Матриця суміжності уніфікованих елементів форм та технологічних переходів обробки деталей типу «тіла обертання»**

Позн.	Зміст переходу	IT	Ra	Уніфіковані элем. форм
A1	Точити поверхню начорно	12—14	5 —10	q <sub>2</sub> —q <sub>7</sub>
A2	Точити поверхню начисто	11—12	2,5 —5	q <sub>2</sub> —q <sub>7</sub>
A3	Точити поверхню тонко	7—10	1,25—2,5	q <sub>2</sub> —q <sub>7</sub>
A4	Шліфувати поверхню попередньо	8—9	1,25—2,5	q <sub>2</sub> —q <sub>7</sub>
A5	Шліфувати поверхню кінцево	6—7	0,32—0,6	q <sub>2</sub> —q <sub>7</sub>
A6	Точити канавку начорно		5 —10	q <sub>13</sub> —q <sub>14</sub> , q <sub>16</sub> —q <sub>18</sub>
A7	Точити канавку начисто		2,5 —5	q <sub>13</sub> —q <sub>14</sub> , q <sub>16</sub> —q <sub>18</sub>
A8	Шліфувати канавку		1,25—2,5	q <sub>13</sub> —q <sub>14</sub> , q <sub>16</sub> —q <sub>18</sub>
A9	Точити виточку	11—14	2,5 —5	q <sub>9</sub> —q <sub>12</sub>
A10	Шліфувати виточку	8—10	1,25—2,5	q <sub>9</sub> —q <sub>12</sub>
A11	Точити фаску	12—14	5 —10	q <sub>15</sub>
A12	Шліфувати фаску	8—10	1,25—2,5	q <sub>15</sub>
A13	Точити конус начорно	12—14	5 —10	q <sub>8</sub>
A14	Точити конус начисто	11—12	2,5 —5	q <sub>8</sub>
A15	Точити конус тонко	8—10	1,25—2,5	q <sub>8</sub>
A16	Шліфувати конус попередньо	8—9	1,25—2,5	q <sub>8</sub>
A17	Шліфувати конус кінцево	6—7	0,32—1,2	q <sub>8</sub>
A18	Точити різь начорно	10	5 —10	q <sub>19</sub>
A19	Точити різь напівчисто	8—9	2,5 —5	q <sub>19</sub>
A20	Накатати різь	8	2,5 —5	q <sub>19</sub>
A21	Фрезерувати різь	9	2,5 —5	q <sub>19</sub>
A22	Шліфувати різь	6—7	1,25—2,5	q <sub>19</sub>
A23	Центрувати торець			q <sub>32</sub>
A24	Свердлити отвір	12—14	5 —10	q <sub>20</sub> , q <sub>21</sub> , q <sub>43</sub> , q <sub>45</sub>
A25	Розсвердлити отвір	11—14	5 —10	q <sub>20</sub> , q <sub>21</sub> , q <sub>43</sub> , q <sub>45</sub>
A26	Зенкерувати отвір	10—12	2,5 —5	q <sub>20</sub> , q <sub>21</sub> , q <sub>43</sub> , q <sub>45</sub>
A27	Розвернути отвір попередньо	9—10	2,5 —1,25	q <sub>20</sub> , q <sub>21</sub> , q <sub>43</sub> , q <sub>45</sub>
A28	Розвернути отвір кінцево	7—8	0,6 —1,25	q <sub>20</sub> , q <sub>21</sub> , q <sub>43</sub> , q <sub>45</sub>
A29	Розточити отвір начорно	12—14	5 —10	q <sub>21</sub> —q <sub>24</sub>
A30	Розточити отвір начисто	11—12	2,5 —5	q <sub>21</sub> —q <sub>24</sub>
A31	Розточити отвір тонко	8—10	1,25—2,5	q <sub>21</sub> —q <sub>24</sub>
A32	Шліфувати отвір попередньо	9—10	1,25—2,5	q <sub>21</sub> —q <sub>24</sub>
A33	Шліфувати отвір кінцево	7—8	0,6 —1,25	q <sub>21</sub> —q <sub>24</sub>
A34	Розточити виточку	9—11	2,5 —5	q <sub>27</sub> , q <sub>28</sub>
A35	Зенкерувати фаску		2,5 —5	q <sub>25</sub>
A36	Шліфувати фаску		1,25—2,5	q <sub>25</sub>
A37	Нарізати внутрішню різь		2,5 —5	q <sub>31</sub>
A38	Відрізати деталь		5 —10	q <sub>1</sub>
A39	Підрізати торець начорно		5 —10	q <sub>1</sub>
A40	Підрізати торець начисто		1,25—5	q <sub>1</sub>
A41	Фрезерувати торець начисто	9—11	2,5 —5	q <sub>1</sub>
A42	Фрезерувати торець начорно	12—14	5 —10	q <sub>1</sub>
A43	Чорнове фрезерування зубців	12	10 —20	q <sub>48</sub>
A44	Чистове фрезерування зубців		5 —10	q <sub>48</sub>
A45	Шевінгувати зубці		2,5 —5	q <sub>48</sub>
A46	Фрезерувати шліци начорно		5 —10	q <sub>49</sub>
A47	Фрезерувати шліци начисто		2,5 —5	q <sub>49</sub>
A48	Шліфувати поверхні впадин		1,25—2,5	q <sub>49</sub>
A49	Фрезерувати лиску	12—14	2,5 —5	q <sub>40</sub> —q <sub>42</sub> , q <sub>60</sub> , q <sub>61</sub>
A50	Фрезерувати шпоночний паз	12—14	2,5 —5	q <sub>37</sub> —q <sub>39</sub>



При створенні конструкторських груп деталей беруться до уваги конструктивні ознаки структури деталей ( $W_{ri}$ ), які визначають вибір альтернативних варіантів структур уніфікованих технологічних маршрутів (ТМ) обробки класифікаційного ряду деталей:  $d_{li} = \{\cup_{m_i}^M \beta_{mi} | \beta_{mi} = 1\}$  (блок 5, рис. 5.1). Вибір прийнятих варіантів ТМ здійснюється на основі встановлених бульових матриць  $\|\beta_{mi}\|$ . Приклад визначення трьох варіантів уніфікованих

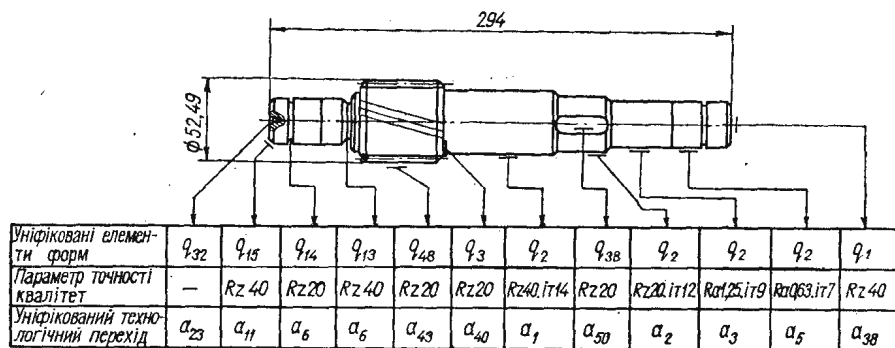


Рис. 5.4. Типовий представник класифікаційного ряду деталей типу «вал—шестірня».

маршрутів токарної обробки деталей типу «вал» і їх графова інтерпретація показані на рис. 5.5.

Важливим етапом технологічного проектування ГВС є визначення кількісного  $K_{xf}$  і якісного  $X_f$  складу основного технологічного обладнання (блок 8, рис. 5.1). Аналіз класифікатора ЕСКД (клас деталей 71—75) показує, що всю номенклатуру деталей, яка підлягає обробці на верстатах з ЧПУ, можна розділити на деталі класу валів, дисків і корпусні [1, 3]. Між основними параметрами верстатів і граничними розмірами оброблюваних деталей є певні залежності, у встановленні і конкретній реалізації яких і полягає мета даного етапу проектування. Зі всієї різноманітності альтернатив технологічних маршрутів слід вибрати такі, що відповідають критерію максимальної продуктивності  $\arg \max Q_i$  (блок 9, рис. 5.1).

Деяка підмножина конкурентоспроможних (що наближаються до  $\max Q_i$ ) варіантів ТМ (блок 10, рис. 5.1), що реалізуватимуться на верстатах  $X_f$  і обслуговуватимуться промисловими роботами  $Y_{xf}$  дає змогу визначити альтернативні варіанти структур і взаєморозміщення елементів ГВМ (або РТК)  $\{l_i\}$  — (блок 12, рис. 5.1). Оптимальні рішення структури і взаєморозміщення елементів ГВМ визначаються як аргумент функції, що встановлює мінімальні просторі основного технологічного обладнання ГВМ ( $\arg \min k_B$ ) (блок 13, рис. 5.1). При розв'язанні цієї задачі виникає питання: скільки робочих позицій доцільно обслуговувати промисловим роботом? Обслуговування декількох верстатів од-

ним ПР знижує витрати на придбання та експлуатацію допоміжного обладнання, але при цьому може мати місце недовантаження верстатів внаслідок їх багатопозиційного обслуговування. Одним із шляхів отримання компромісного варіанта розв'язання цієї задачі наведений вище в розд. 4.

На шостому етапі здійснюється синтез структури ГВС так, щоб: 1) забезпечити безперервність виконання технологічного процесу обробки довільної деталі багатомоделного класифіка-

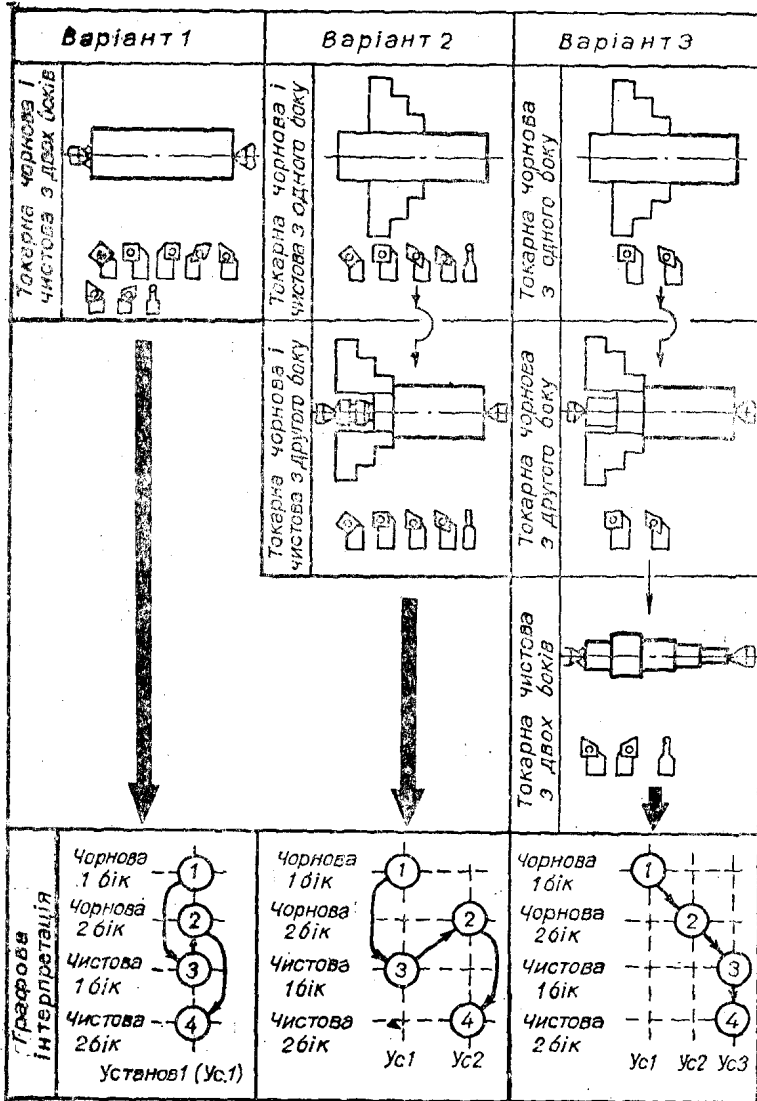


Рис. 5.5. Варіанти технологічних маршрутів токарної обробки деталей типу «вал» та їх графова інтерпретація.

ційного ряду деталей; 2) скоротити до мінімуму міжопераційні простої обладнання, пов'язані з роботою автоматизованої транспортно-складської системи (АТСС) (блок 15, рис. 5.1); 3) виконувалися вимоги, пов'язані з використанням виробничих площ.

Кінцевим етапом проектування є вибір комплексу технологічних і структурно-компоновочних рішень ГВМ і ГВС з числа конкурентоспроможних (за локальними критеріями) варіантів.

Критерієм 1-го роду, що забезпечує глобальний оптимум комплексу рішень, є критерій мінімуму приведених витрат ( $\arg \min Z_{np}$ ) (блок 16, рис. 5.1), при техніко-економічних обмеженнях і умовах працездатності ГВС. У загальному вигляді економіко-математична модель подана в розд. 4.

## 5.2. Прогнозування конструктивно-технологічних характеристик об'єктів виробництва ГВС

При проектуванні довільної технологічної системи слід виходити в першу чергу із встановленого ряду деталей, обробку яких передбачають здійснювати на обладнанні цієї системи. Високий рівень недетермінованості гнучкого виробництва, постійна зміна номенклатури виробів значно ускладнює задачу оптимального технологічного і структурного проектування ГВС.

Одним із найбільш ефективних засобів подолання початкової невизначеності задачі технологічного проектування ГВС, стохастичного характеру окремих параметрів і процесів, що відбуваються в цій складній системі, є методи наукового прогнозування і всебічного конструкторсько-технологічного дослідження динаміки розвитку існуючого виробництва. Результатом таких досліджень буде прогноз складу виробів майбутнього виробництва на  $N$  років перспективи, що дає змогу встановлювати з певним ступенем достовірності оптимальні технологічні розв'язки задачі. Результат може бути поданий або у вигляді створених конструкторсько-технологічних груп деталей з деякими відносними кількісними характеристиками (коєфіцієнти пріоритету груп, приведена програма випуску), або у вигляді єдиної гіпотетично надлишкової деталі, що узагальнює в собі конструктивні особливості, які накладають обмеження на деталі, що вперше надходять на обробку.

На рис. 5.6 зображена блок-схема алгоритму розв'язку задачі в автоматизованому режимі на ЕОМ.

Із відомих методів наукового прогнозування [5, 6, 10, 11, 12] найбільш прийнятними є методики екстраполяції тенденцій і морфологічного аналізу.

Метод екстраполяції тенденцій найбільш прийнятний в дрібносерійному виробництві, коли рівень недетермінованості достатньо високий. Цей метод є частковим випадком пошукового прогнозування [10] і базується на умові, що закон будь-якої зміни, який мав місце у минулому, буде діяти і в майбутньому ідентично або

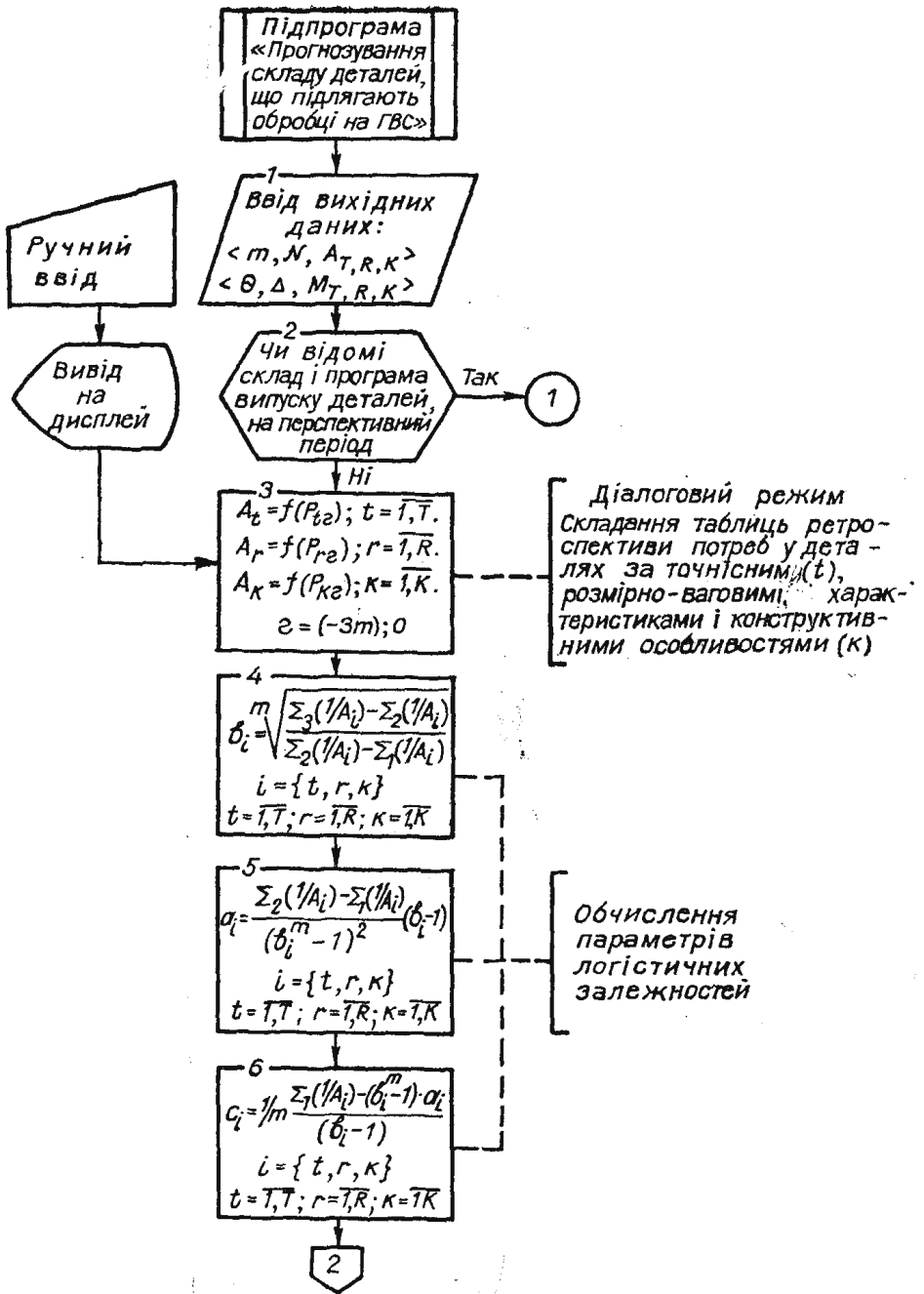
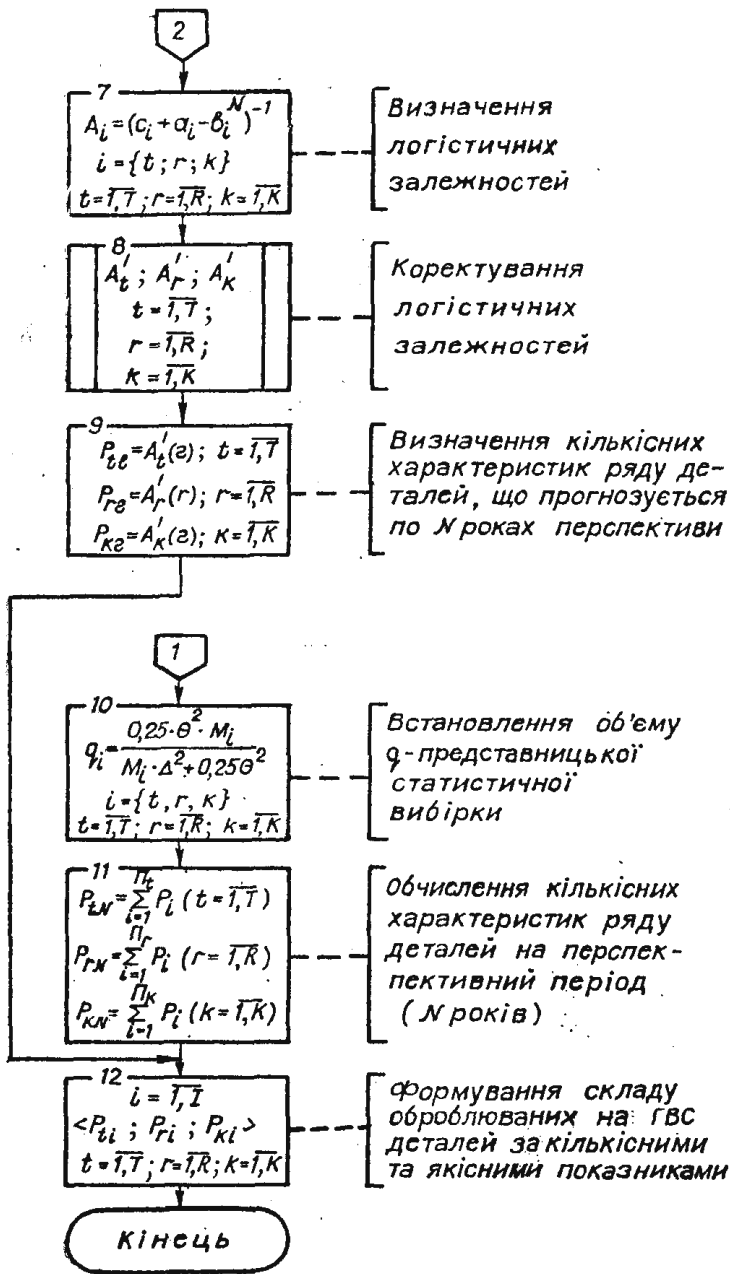


Рис. 5.6. Блок-схема прогнозування якісного і



кількісного складу деталей, що підлягають обробці на ГВС.

з деякими модифікаціями. Суть методу полягає у встановленні тенденції розвитку того чи іншого явища на основі статистичних даних.

При складанні прогнозу слід встановити ретроспективу потреби в деталях за точнісними ( $A_t$ ) розмірно-ваговими ( $A_r$ ) характеристиками і конструктивними особливостями ( $A_k$ ) (блок 3, рис. 5.7). При цьому  $g$  років перспективи слід розкласти на 3 періоди ( $g=3m$ ) і встановити для кожного з них кількісні значення параметрів  $A_t, A_r, A_k, P_{tm}, P_{rm}, P_{km}$  ( $t=\overline{1, T}; r=\overline{1, R}; k=\overline{1, K}; m=\overline{0, 2}$ ), тобто значень програми випуску деталей з  $t$ -ю,  $r$ -ю і  $k$ -ю характеристикою відповідно, на  $m$ -й рік ретроспективи. Встановлення закономірностей зміни цих параметрів проводиться на основі логістичних залежностей [10]:

$$A_i = (G_i + a_i \cdot b_i^N)^{-1},$$

де  $i = \{t; N; k\}$  для  $t=\overline{1, T}; r=\overline{1, R}; k=\overline{1, K}; a_i, b_i, c_i — \text{const}; N — \text{var} — \text{час у роках перспективи.}$

Визначення параметрів логістичних залежностей здійснюється на основі регресійного аналізу [5, 6] за такими формулами:

$$b_i = \sqrt{\frac{\Sigma_3(1/P_{i3}) - \Sigma_2(1/P_{i2})}{\Sigma_2(1/P_{i2}) - \Sigma_1(1/P_{i1})}} \quad (\text{блок 4, рис. 5.7});$$

$$a_i = \frac{\Sigma_2(1/P_{2i}) - \Sigma_1(1/P_{1i})}{(b_i - 1)} (b_i^m - 1)^2 \quad (\text{блок 5});$$

$$c_i = \frac{\Sigma_1(1/P_{1i}) - (b_i^m - 1) \cdot a_i}{m(b_i - 1)} \quad (\text{блок 6});$$

$$\Sigma_3 = \sum_{s=\overline{-3m, -2m}}^{s=-2m} 1/P_{im}; \quad \Sigma_2 = \sum_{s=\overline{-2m, -m}}^{s=-m} 1/P_{im}; \quad \Sigma_1 = \sum_{s=\overline{-m, 0}}^{s=0} 1/P_{im}.$$

$\Sigma_1, \Sigma_2, \Sigma_3$  — суми обернених значень потреби в деталях з  $i$ -ю характеристикою третього, другого і першого періоду ретроспективи відповідно.

При прогнозуванні важливо враховувати наявність ряду факторів, пов'язаних з непередбаченою декларативною зміною кількісного і якісного складу оброблюваних деталей. Ці фактори (наприклад, заміна застарілих конструкцій якісно новими із значним підвищенням вимог до точності виготовлення і з можливою зміною конструктивних розмірно-вагових характеристик) вимагають всебічного техніко-економічного обґрунтування [6].

Логістичні залежності коректуються з використанням стандартних програм СППП [8], що базуються на ітераційних методах послідовного наближення.

Метод морфологічного аналізу доцільно використовувати в багатосерійному виробництві, коли відомі склад і параметри виробів майбутнього виробництва. Цей метод є частковим випадком

нормативного прогнозування (11, 12) і полягає у визначенні і впорядкуванні інформації про деталі на основі статистичних даних і групування об'єктів механо-складального виробництва.

Метод морфологічного аналізу передбачає визначення об'єму і структури деталей статистично-представницької вибірки за їх точнісними  $q_t$ , розмірно-ваговими  $q_r$  характеристиками і конструктивними особливостями  $q_k$ . Для прогнозування не обов'язково отримувати інформацію про всі деталі, обробку яких передбачають здійснювати на обладнанні ГВС. Достатньо мати інформацію про порівняно невелику групу деталей (статистично-представницьку вибірку), характеристики якої статистично аналогічні загальній сукупності деталей.

Мінімальний об'єм  $q$ -представницької вибірки згідно зі СТ РЕВ 546-77 встановлюється за формулою

$$q_i = \frac{0,25 \theta^2 M_i}{M_i \Delta^2 + 0,25 \theta^2},$$

де  $i = \{t, r, k\}$  для всіх  $t = \overline{1, T}$ ,  $r = \overline{1, R}$ ;  $k = \overline{1, K}$ ;

$\theta$  — нормативне відхилення, тобто граничне значення випадкової величини, що визначається в долях квадратичного відхилення  $\delta$ .

При  $\theta = 1$  надійність розрахунку становить 0,68;

При  $\theta = 2$  надійність становить 0,955;

$M_i$  — загальна кількість класифікаційних груп за точнісними ( $M_i = T$  при  $i = t$ ), розмірно-ваговими ( $M_i = R$  при  $i = r$ ) параметрами, а також конструктивними особливостями ( $M_i = K$  при  $i = k$ );

$\Delta$  — допустима похибка вибірки ( $\Delta = 0,05 \div 0,1$ ).

Кількісні характеристики кожної групи деталей за  $i$ -ю ознакою ( $i = \{t, r, k\}$ ) визначаються значенням програми випуску  $\sum_{j=1}^I P_{ij}$  всіх деталей ( $j = \overline{1, I}$ ), що входять у статистично визначену групу:

$$\left\{ \begin{array}{l} P_{tq} = \sum_{j=1}^J P_{jt} \\ P_{rq} = \sum_{j=1}^J P_{jk} \\ P_{kq} = \sum_{j=1}^J P_{jk} \end{array} \right. \quad (\text{блок 11, (рис. 5.7)}).$$

Таким чином, використання на передпроектній стадії методів прогнозування дає змогу розглянути ряд деталей як систему, що розвивається і здатна зміцнювати свої якісні і кількісні показники в межах встановлених значень.

Оскільки на даному етапі використовуються деякі статистичні припущення, то результати дальшого технологічного проектуван-

ня стають квазіоптимальними. Можна встановити три рівні оптимальності розв'язку задачі:

— «відмінний», коли точно визначена номенклатура оброблюваних деталей;

— «добрий», коли номенклатура деталей відома не повністю, але досить точно прогнозується методами морфологічного аналізу;

— «задовільний», коли склад оброблюваних деталей не заданий і його можна з деякою ймовірністю встановити методами екстраполяції тенденцій існуючого виробництва.

Таблиця 5.2

**Вихідні дані розрахунку програм випуску деталей**

Рік	$N$	$P_{r2}$ , тис. шт.	$1/P_{r2}$	$\Sigma 1/P_{r2}$
1	2	3	4	5
1980	1	24	0,041	$\Sigma_1 = 0,122$
1981	2	24	0,041	
1982	3	25	0,04	
1983	4	28	0,035	$\Sigma_2 = 0,106$
1984	5	26	0,038	
1985	6	30	0,033	
1986	7	31	0,032	$\Sigma_3 = 0,086$
1987	8	34	0,029	
1988	9	40	0,025	

Прикладом може бути прогнозування складу і програми випуску деталей типу «вал» і «вал—шестірня» на ВО «Конвейер» (м. Львів).

Передпроектне дослідження діючого виробництва дає змогу зробити висновки:

— точнісні і конструктивні характеристики валів і валів—шестірень протягом останніх 10 років суттєво не змінювались;

— є тенденція до збільшення програм випуску деталей (особливо 1-го і 2-го розмірно-валового діапазону (згідно з класифікаційною схемою, рис. 5.2).

Прогнозування здійснюється на основі методу екстраполяції тенденцій. Алгоритм розв'язку цієї задачі наведений нами раніше на рис. 5.6.

Приклад потреби і виробництва деталей типу валів і валів—шестірень 2-го діапазону типорозмірів за минулі роки і за діючим планом наведений в табл. 5.2.



Ретроспектива ділиться на три рівних періоди по 3 роки ( $m=3$ ). Визначаються відношення  $1/P_{r_2}$  і суми цих відношень по кожному з трьох періодів. Розрахунок параметрів логістичної кривої здійснюється за формулами, наведеними вище:

$$b_{r_2} = \sqrt{\frac{0,086 - 0,106}{0,106 - 0,122}} = 1,271;$$

$$a_{r_2} = \frac{(0,106 - 0,122) \cdot (1,271 - 1)}{(1,23^3 - 1)^2} = -0,002;$$

$$c_{r_2} = \frac{0,122 - (1,271^3 - 1) \cdot (-0,002)}{3 \cdot (1,271 - 1)} = 0,043.$$

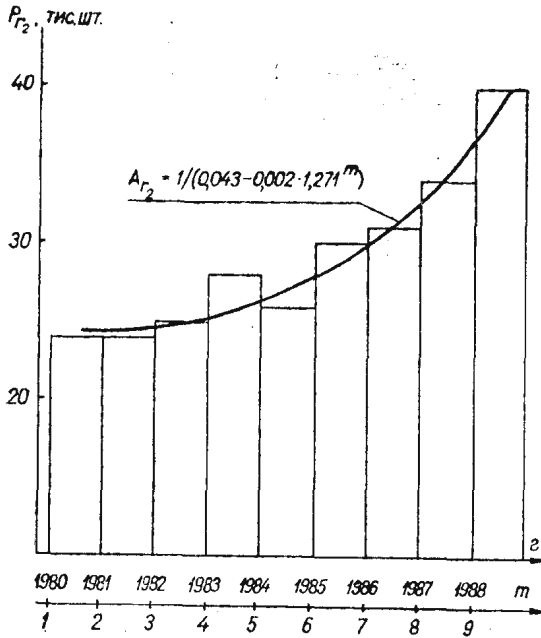


Рис. 5.7. Графік теоретичної логістичної кривої та гістограма дійсних значень потреб у дегалях другого розмірно-вагового діапазону на ВО «Конвейер».

Таким чином, формула логістичної залежності набуває вигляду

$$A_{r_2} = 1(0,043 - 0,002 \cdot 1,271^m),$$

де  $m=1,9$  — роки в ретроспективі;

$m=10,15$  — роки в перспективі.

На рис. 5.7 зображені графік теоретичної логістичної кривої  $P_{r_2}(m)$  і гістограма дійсних значень  $P_{r_2}$ . Аналіз їх показує цілком задовільні результати накладання розрахункової кривої на точки фактичної потреби за останні 10 років.

Екстраполяція тенденції зростання програм випуску деталей типу «вал» і «вал—шестірня» 2-го розмірно-вагового діапазону дає змогу встановити, що 1992 року програма випуску вказаних вище виробів найбільш імовірно зросте до 65 тис. шт.,

$$P_{r,2} = 1/(0,043 - 0,002 \cdot 1127^{12}) = 65 \text{ тис. шт.}$$

Аналогічні дослідження слід провести для визначення кількісного зростання програм випуску деталей інших розмірно-вагових груп.

### 5.3. Приклади діючих гнучких виробничих систем на ВО «Конвейер»

Виробниче об'єднання «Конвейер» (м. Львів) спеціалізується на випуску обладнання для вантажонесучих і штовхаючих конвейерів різної вантажності, монорейкових шляхів, маніпуляторів різних типів, транспортно-перевантажувальних комплексів, автоматизованих транспортно-складських систем (АТСС). Існуючий стан виробництва ще не повною мірою може сприяти здійсненню завдань по підвищенню рівня виробництва, скороченню строків впровадження нової техніки, підвищенню якості продукції згідно з директивним планом уряду. При цьому намічається тенденція постійного ускладнення конструкцій і збільшення номенклатури виробів, скорочення строків на конструкторсько-технологічну підготовку виробництва. Ефективним засобом реалізації цього є більш широке використання гнучких виробничих систем, що керуються від ЕОМ і працюють за принципом гнучко переналаджуваної технології. Перед ВО «Конвейер» вперше поставлено завдання створення гнучких виробничих систем з максимальним використанням обладнання, що випускається об'єднанням, з наступним його тиражуванням як виду продукції.

При цьому переслідуються такі цілі:

- відробка проектних і конструкторських рішень в умовах діючого виробництва по розробці і виготовленню АТСС для ГВС;
- розкриття можливостей транспортно-складських систем, що випускаються на ЛКЗ;
- відробка взаємодії транспортних засобів, автоматизованих складів і технологічного обладнання, що керуються від єдиної ЕОМ;
- вдосконалення окремих складових і АТСС в цілому в процесі їх дослідної експлуатації в умовах діючого виробництва;
- відробка і впровадження САПР і САП у виробництво;
- відробка і впровадження систем управління оперативно-диспетчерського рівня;
- навчання виробничого персоналу експлуатації і запуско-налаштовувальним роботам АТСС ГВС;
- відробка питань автоматизованої технологічної підготовки виробництва.

Тепер на виробничому об'єднанні «Конвейер» розроблені і впроваджені дві гнучкі автоматизовані дільниці по виготовленню деталей типу «тіла обертання» і хрестовин.

### 5.3.1. ГНУЧКА АВТОМАТИЗОВАНА ДІЛЬНИЦЯ МЕХАНІЧНОЇ ОБРОБКИ ДЕТАЛЕЙ «ТІЛА ОБЕРТАННЯ»

ГАД являє собою гнучку автоматизовану систему, що включає технологічне, транспортно-перевантажувальне та складське обладнання, кероване автоматизованою системою управління для токарної обробки деталей типу «тіла обертання» конвейерів. Вона раціонально пристосована для виробництва деталей дрібними і середніми серіями при тризмінній роботі та мінімальній кількості обслуговуючого персоналу.

Передумови для розробки даної ГВС були утворені шляхом:

— утворення автоматизованої виробничої системи з можливістю адаптації до швидкозмінних умов виготовлення деталей у цеху № 1;

— здійснення повної і кінцевої обробки всіх поверхонь деталей «тіла обертання» в межах однієї чи двох операцій;

— створення автоматизованої системи взаємодії транспортно-перевантажувальної та складської системи;

— розробка уніфікованої тари для транспортування заготовок, деталей і оснащення в межах дільниці;

— створення групової системи управління технологічним обладнанням;

— розробка автоматизованої системи оперативно-диспетчерського управління дільницею.

— Для сучасних закордонних ГВС механічної обробки валів та фланців таких ведучих фірм, як Hertel Krupp, (ФРН), Sandvik (Швеція), Kennametal (США), Trub Gildemister, Boehringer (Австрія), характерні такі риси:

1. Підвищення продуктивності і точності обробки, потужності приводів і жорсткості верстатів.

2. Підвищення коефіцієнта використання верстатів шляхом концентрації переходів, використання багатосупортної обробки деталей, інструментальних блоків і насадних головок.

3. Використання токарних центрів, що забезпечують виконання операцій нецентрового фрезерування і свердління за одне встановлення деталей при індексації шпінделя.

4. Збільшення об'ємів інструментальних магазинів.

5. Автоматизована зміна з магазинів схватів промислових роботів, різцетримачів, кулачків патронів і самих патронів.

6. Збільшення місткості касет з деталями.

7. Використання широко розгалуженої мережі діагностики, активного контролю, адаптивних систем управління.

Деякі із перелічених особливостей були враховані при розробці ГАД.

Планування дільниці складене з урахуванням належності технологічного обладнання до токарної групи та ідентичності їх методів, забезпечення одноманітності вантажообмінних операцій між трансроботом (ТР) і приверстатним накопичувачем (ПН) в один бік відносно траси ТР, раціонального використання виробничих площ, зручності усунення відходів, забезпечення можливості доставки і подальшого транспортування заготовок і деталей з дільниці на випадок відмови АТСС, зручності наладки і обслуговування.

Специфіка компоновки ГАД забезпечує можливість розширення виробництва в автоматизованому режимі при деякому об'ємі доробок шляхом включення в систему оброблювальних центрів свердлильно-фрезерно-розточної групи, встановлених з зовнішнього боку траси ТР. Структура ГАД забезпечує можливість ремонту і наладки окремих одиниць технологічного обладнання без зупинки виробництва на дільниці.

#### 5.3.1.1. Склад і призначення систем ГАД

1. Відділення механічної обробки (ВМО) виконує такі функції: токарна обробка деталей класу «круглі стержні» (вали й диски) в автоматизованому режимі;

підналадка ріжучого інструменту в міру його зношування;

автоматична зупинка токарного обладнання при поломці ріжучого інструменту або закінченні періоду його стійкості;

подавання в робочу зону децентралізованого приверстатного накопичувача (ПН) схвату промислового робота (ПР), накопичування і усунення з ПН касет з заготовками, деталями і напівфабрикатами;

автоматичне установлення деталей у патрон токарного верстата, зняття і повернення їх в зону подачі;

автоматичне переустановлення деталей;

транспортування і зберігання в зоні децентралізованого накопичувача змінного металоріжучого інструменту;

— періодичне позбавлення відходів (стружки, уламків інструменту тощо);

здійснення технічного контролю на робочому місці, переналадка та наладка верстатів, ПР.

ВМО включає в себе таке обладнання: 6 токарних ГВМ 16А20ФЗРМІ на базі токарного патронно-центрового верстата 16А20ФС239 з промисловим роботом М20П. 340.02 з пристроями числового програмного управління (ПЧПУ) для токарного верстата — «Електроніка НЦ-31», для ПР-2Р22 і 6 приверстатних накопичувачів (спроектованих на ВО «Конвейер») з локальною системою управління на базі мікроконтролерів.

Токарний верстат оснащений спеціальним шупом, призначеним для контролю ступеня зносу ріжучої кромки різців і вироблення сигналу для автоматичної корекції траєкторії їх руху. Приверстатний накопичувач має кантувальний столик для переорієнту-

вання деталей, а також спеціальний пристрій для подавання і переустановлення деталей класу «вали» у робочу зону верстата. Причому з шести ГВМ п'ять мають кантувальні столики для деталей класу «диски». Передбачається можливість тимчасового установа на ділянці тактового стола при виході з ладу ПН.

Кожний промисловий робот оснащений трьома видами захватних пристроїв: С01, С02 — для захвату деталей класу «диски» і «вали» вагою 10 і 20 кг відповідно і С06 — для захвату одночасно двох деталей класу «диски» загальною вагою 20 кг (по 10 кг на кожен схват).

2. Автоматизована транспортно-складська система (АТСС) призначена для прийому, видачі і накопичення тризмінного запасу заготовок, напівфабрикатів, готових деталей, а також ріжучих інструментів і технологічного оснащення. АТСС, крім того, забезпечує транспортування по команді системи управління вантажів за вказаною адресою, а також веде облік стану і місця накопичення вантажів (динамічна модель складу).

До складу АТСС входить таке обладнання:

двостелажний автоматизований склад (АС) вантажністю 50 кг виробництва НРБ з краном-штабелером (КШ);

вантажорозподільне обладнання (ВРО) в складі транспортних модулів, поворотних модулів, модулів приймання та видачі вантажів;

трансробот на монорейковій дорозі (трасі);

дисплейна станція управління АС20;

— блоки управління АС26 і ВР0.

Транспортування і складування вантажів здійснюється в касетах (заготовки, деталі і напівфабрикати) і в тарі за ГОСТ 14861-76 (оснащення, вимірвальний інструмент тощо).

3. Відділення комплектації заготовок (ЕКЗ) та оснащення виконує такі функції.

— приймання та видання вантажів з АС;

— зміна готових деталей на заготовки в касетах;

— переорієнтування напівфабрикатів у касетах;

— переналадка операторів касет при запуску нової партії деталей у виробництво;

— вхідний та вихідний контроль заготовок та деталей відповідно.

До складу ВКЗ входять:

модуль транспортно-привідний маніпулятора мод. СМТК-150 (3 шт.);

модуль поворотний СМТК-150 (2 шт.);

маніпулятор збалансований моделі МПЭ-400 (1 шт.),

стелаж для переналадки і оснащення касет (2 шт.).

4. Відділення інструментального забезпечення (ВІЗ) призначене для отримання, зберігання та видавання ріжучого, допоміжного інструменту (розтискні державки, перехідні втулки та ін.), оснащення для кріплення (оправки, різцетримачі, кулачки), пристроїв, комплектації, зборки, контролю і розмірної наладки інст-

рументів поза верстатом; організації обліку руху ріжучих інструментів та технологічного оснащення.

ВІЗ включає в себе:

стелаж для ріжучих та допоміжних інструментів моделі СМ 3722.03 (6 шт.);

стелаж обертовий привідний для кінцевого інструменту АСВ 26.03.02.000 (2 шт.);

стелаж оснащення інструментальних блоків і кулачків моделі АСВ 26.03.01.000 (3 шт.).

Таблиця 5.3

**Рівні автоматизації обладнання ГВС**

№№ п/п	Назва виконуваних функцій	Рівень автоматизації виконуваних функцій		
		автоматичний	автоматизований	Ручний
1	Накопичення матеріалів, заготовок і виробів на складі	+		
2	Транспортування матеріалів, заготовок та виробів по маршруту склад—робоче місце—склад	+		
3	Накопичення оснащення та інструменту		+	
4	Управління технологічним процесом	+		
5	Управління виробничим процесом (планування, диспетчеризація тощо)	+		
6	Захист від аварійних ситуацій	+		
7	Програмування управляючих програм		+	
8	Завантаження—розвантаження матеріалів, заготовок, виробів			+
9	Транспортування допоміжних матеріалів на робоче місце			+
10	Позбавлення робочих місць від відходів виробництва			+
11	Установлення заготовок на касети			+
12	Контроль якості виготовлення виробів			+
13	Технологічна підготовка виробництва		+	
14	Проектування виробів		+	

маніпулятор збалансований МПЕ160 (1 шт.).

5. Відділення управляючого обчислювального комплексу (ВУОК) та технологічної підготовки виробництва призначене для організації управління технологічним процесом обробки деталей у масштабі реального часу, забезпечення раціонального використання технологічного обладнання, автоматизації отримання інформації про поточний стан технологічного процесу, забезпечення інформацією персоналу управління про хід виконання планових завдань, оперативне управління та планування роботи АТС, основного та допоміжного технологічного обладнання.

До складу управляючої системи АСУ входять обчислювальні комплекси на базі ЕОМ ЕС-1841 та СМ 1420.

Режим роботи технологічного обладнання (ТО) дільниці за рівнем автоматизації виконуваних операцій наведений в табл. 5.3.

Режим роботи ТО дільниці за ступенем використання обладнання: кількість змін — 3; коефіцієнт змінності  $\approx 2,5$ ; коефіцієнт завантаження обладнання — 0,8.

### 5.3.1.2. Номенклатура і характеристика оброблюваних деталей

Вимоги до номенклатури деталей з урахуванням технологічних можливостей ГВМ:

маса заготовки не більше 20 кг (обмежена вантажність ПР);  
максимальний діаметр заготовок не більше 240 мм (обмежений конструкцією схвату ПР);

найбільша довжина заготовок 350 мм (обмежена габаритами тари);

найвища точність поверхонь, що обробляється в одній установці по діаметру: зовнішніх — 8 квалітет; внутрішніх — 7 квалітет; лінійних — 10 квалітет;

найменша шорсткість оброблюваних поверхонь: зовнішніх —  $R_a=1,6 \dots 3,2$  мкм; внутрішніх —  $R_a=0,8 \dots 3,2$  мкм;

найвища точність розміщення поверхонь деталей, що оброблятимуться у двох установках по радіальному і торцевому биттю, становить 50 мкм;

мінімальний діаметр циліндра розтиску заготовки в патронні верстати «на розтиск» — 38 мм (обмежений конструкцією схвата ПР). Матеріал оброблюваних деталей — сталь і чавун. Деталі з кольорових матеріалів у номенклатуру не включені внаслідок незначних обсягів їх випуску та значного зростання витрат часу при переході на обробку деталей з інших матеріалів. Номенклатура деталей охоплює два види заготовок — круглий прокат і відливка. Їх маса перевищує вантажність промислового робота — 20 кг, а маса транспортної партії (партія заготовок встановлюється на касету) — 35 кг. Вимоги до якості заготовок з круглого прокату наводяться в технічній документації. Для відливки точність розмірів не перевищує 17 квалітету, а шорсткість поверхонь має бути не нижчою  $R_z$  320.

### 5.3.1.3. Трудомісткість транспортної партії деталей

Для забезпечення роботи технологічного обладнання без простою внаслідок очікування наступної касети необхідно, щоб мінімальна верстатоемність транспортної партії була більша, ніж середній час послідовного обслуговування всіх робочих місць дільниці автоматизованою транспортно-складською системою, тобто  $T_{втр} >$

$>6 T_{рц}$  де  $T_{вп}$  і  $T_{рц}$  — верстатоемність транспортної партії деталей (на касеті) і час робочого циклу АТСС відповідно.

Робочим циклом АТСС вважається видавання з АС на дільницю і приймання довільного вантажу (при цьому припускаємо, що вантаж транспортується з однієї й тієї ж позиції). Тривалість робочого циклу АТСС лімітується робочим циклом крана-штабелера автоматизованого складу (КШАС). При продуктивності КШ-40 тар/год (операція/год) кількість робочих циклів дорівнює 20 (один робочий цикл складається з двох операцій), а його тривалість — 3 хв. Отже, середній час, необхідний для послідовного обслуговування шести верстатів, становить 18 хв, він повинен перекриватися верстатоемністю транспортної партії деталей, тобто:  $T_{вп} > 18$  хв.

#### 5.3.1.4. Підготовка дільниці до роботи

Заготовки-відливки проходять попередню чорнову обробку базових поверхонь під схват робота і кулачки патрона (підрізання торців і точіння з двох боків). У заготовок із труб підрізають торці, а заготовки з круглого прокату обробляють свердлінням і зенкуванням центрального отвору для забезпечення концентричності обробки довгомірних деталей.

За допомогою міжцехового транспорту заготовки, очищені від окалини, іржі, слідів летникових систем, у тарі 3,5 т транспортуються на площадку складування ОТК, де підлягають 100%-ному вхідному контролю. Розвантаження тар здійснюється транспортним робітником за допомогою шарнірно-збалансованого маніпулятора. Тара вкладається у стелажі. Інструменти та пристрої доставляються зі складу і зберігаються в ВІЗ.

Згідно зі змінним завданням слюсар-інструментальник підбирає і по карті наладки виставляє на розмір ріжучий інструмент; у тару вкладається відповідна технічна документація, яка відправляється у відділення комплектації АС.

На початку I зміни робітник-комплектувальник готує порожню тару і комплекти змінного оснащення для касет.

По завданню комплектувальника кран-штабелер знаходиться у стелажному блоці і транспортує на позицію видачі касети з деталями або напівфабрикатами, які переміщуються по модулях СМТК-150 до комплектувальника. Деталі, що пройшли повну токарну обробку, знімаються і вкладаються у пусту тару.

Касети при необхідності переналаджуються на інші деталі або напівфабрикати для їх обробки зі зворотного боку.

Касети транспортуються на робоче місце комплектувальника по модулях СМТК-150 послідовно. Відправка касет на склад здійснюється за допомогою кнопки відправки вантажів. Укомплектовані заготовками касети надходять на позицію приймання АС, звідки вони забираються штабелером.

Для передачі АСУ ГАД інформації про вантажі, відправлені на склад, комплектувальник кодує вантажі, користуючись тризнач-



ним кодом, який ідентифікує в АТСС кожен вид деталей, інструментів та пристроїв. Місце комплектувальника оснащується виносним пультом, пов'язаним з управляючою ЕОМ АСУ АТСС.

У відділенні технологічної підготовки виробництва розроблені технологічні процеси та управляючі програми (УП) для кожної операції обробки всіх деталей-представників. Дані УП передаються в системи ЧПУ ГВМ, де вони зберігаються у довгостроковій пам'яті верстатів. Програми розподілені між УЧПУ двох верстатів, за якими закріплені відповідні деталі.

За змінно-добовим завданням, яке отримує наладчик ГВМ, він здійснює такі роботи: входить у зону ГВМ, вимикає всі системи, викликає зі складу касету з комплектом інструменту та оснащення, яка транспортується за допомогою трансробота в тарі (навалом) або в касеті (орієнтовано, в гніздах). Тара (касета) передається на верхній ярус двоярусного верстатного накопичувача. Разом з інструментом і оснащенням у касеті повинна знаходитися документація, де вказані коди інструменту та оснащення, а також карта налашки верстата, позначення та коди кулачків тощо.

Наладчик встановлює інструмент на верстат, а резервні різці, свердла, втулки та інше оснащення розміщує в стелажі на робочому місці біля верстата. Відпрацьований інструмент, не потрібний для роботи протягом доби, елементи технологічного оснащення і пристроїв вкладаються у звільнену тару і за допомогою трансробота відправляються на АС.

По команді наладчика до верстатного накопичувача з АС подається касета з заготовками або напівфабрикатами, що підлягають обробці на ГВМ, касета фіксується на модулі позиціонування.

Наладчик вручну встановлює заготовку у патрон верстата, викликає з УЧПУ потрібну команду і після обробки проводить контрольні заміри деталі. За результатами вимірів при необхідності коректує управляючу програму. Після цього наладчик здійснює навчання руху роботи за заданими координатами. По закінченню виконання комплексу цих робіт наладчик дає сигнал АСУ про готовність ГВМ до роботи в автоматичному режимі.

#### 5.3.1.5. Робота ГАД в автоматичному режимі

Робота ГАД в автоматичному режимі здійснюється таким чином (див. рис. 5.8). По команді АСУ кран-штабелер АС знаходить касету, транспортує її на позицію видачі вантажів, звідки касети за допомогою трансробота надходять до приверстатного накопичувача (ПН). Касета спочатку перевантажується на верхній ярус ПН, а потім за допомогою ланцюгового захвату або по рольгангах переміщується на підйомну позицію модуля позиціонування

(МП), опускається до робочого рівня, орієнтується і фіксується із заданою точністю по трьох координатах.

Отримавши сигнал від модуля позиціонування про готовність касети, робот бере заготовку і встановлює її у патрон верстата. Потім здійснюється програмна обробка деталі.

Оброблена (з одного боку) деталь повертається роботом у ту ж позицію в касеті, після чого ПР захоплює наступну деталь, і цикл повторюється. Паралельно з обробкою деталей АСУ прий-

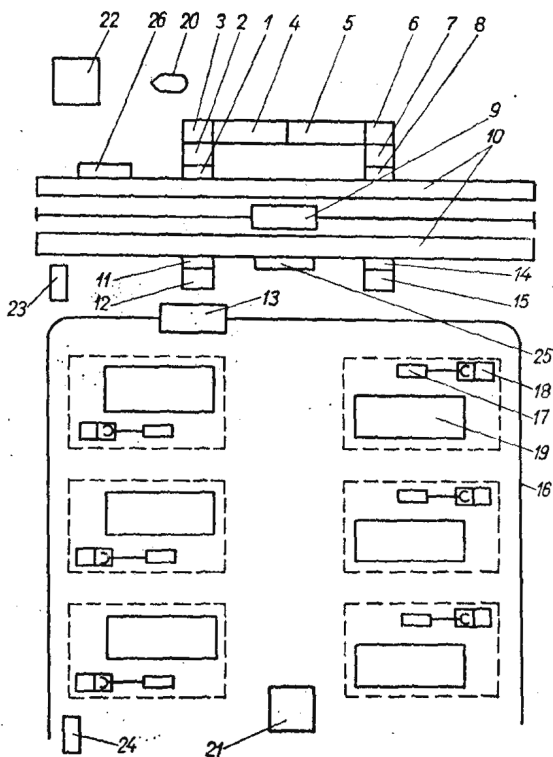


Рис. 5.8. Компонівка гнучкої автоматизованої ділянки обробки деталей типу «тіла обертання» на ВО «Конвейер».

має сигнал «накопичувач вільний», у результаті чого до ПН транспортується наступна касета.

Після обробки всіх деталей у касеті підйомний пристрій МП опускає касету до рівня першого ярусу, звільняє її від затиску і передає накопичувачу, де вона очікує трансробот. Підймальний пристрій МП піднімається до рівня другого ярусу ПН і приймає нову касету з заготовками. Далі цикл повторюється. Трансробот

наближається до приверстатного накопичувача, захоплює касету з деталями (або напівфабрикатами), після чого транспортує її до АС.

Робота дільниці в автоматичному режимі проходить під наглядом обмеженої кількості робітників, які повинні виконувати заміну ріжучого інструменту після закінчення періоду його стійкості, переналадку ГВМ на виробництво деталей іншого найменування, а також втручатися за непередбачених обставин (поломка ріжучого інструменту, вихід з ладу ПР, АТСС тощо).

### 5.3.2. РОБОТИЗОВАНА ТЕХНОЛОГІЧНА ДІЛЬНИЦЯ З АВТОМАТИЗОВАНОЮ ТРАНСПОРТНО-СКЛАДСЬКОЮ СИСТЕМОЮ ДЛЯ МЕХАНІЧНОЇ ОБРОБКИ ДЕТАЛЕЙ ТИПУ «ХРЕСТОВИНА» НА ВО «КОНВЕЙЕР».

Роботизована дільниця призначена для забезпечення спряження і взаємодії автоматизованої транспортно-складської системи і технологічного обладнання в автоматизованому виробництві при механічній обробці деталей типу «хрестовина». Дільниця використовується в крупносерійному виробництві машино- і приладобудування, а також у серійному виробництві за умови, що тривалість процесу обробки партії заготовок становить не менш ніж одну зміну.

До складу АТСС входять: конвейерний склад на базі вантажонесучого конвейера моделі ГН-200Д-50, монорейковий транспортно-перевантажувальний робот вантажністю 160 кг, з двома вантажними позиціями у вигляді привідних рольгангів, тролейним струмопідводом і управлінням, модулі конвейерного маніпулятора СМТК-150 (повороту, підйому та транспортування), що дають змогу переміщувати касети з деталями (заготовками) у просторовій системі координат і що забезпечують взаємозв'язок між трансроботом і конвейерним складом; модулі точного позиціонування; управляючий обчислювальний комплекс УОК на базі ЕОМ СМ 1800.

В АТСС транспортуються касети з обробленими деталями і заготовками (маса кожної відповідно 0,29 і 0,36 кг). Одна касета призначена для розміщення та транспортування одночасно 12 однотипних деталей або заготовок. Конструкція касети забезпечує фіксацію заготовок у процесі транспортування і збереження їх точного орієнтованого положення.

Робота технологічного обладнання і АТСС в процесі завантаження—розвантаження складу на базі конвейера не припиняється. Зв'язок між конвейером і технологічним обладнанням здійснюється через транспортно-перевантажувальний робот (РТП) і два комплекти СМТК-150, кожен із яких складається з одного модуля підйому і двох транспортних модулів. Ці комплекти розміщені в початковій позиції трансробота з протилежних боків і пов'язані з конвейером (рис. 5.9).

У початковому положенні трансробот знаходиться біля модуля СМТК-160. Один із його рольгангів вільний, а на другому знаходиться касета з заготовками. Після надходження сигналу на обслуговування від одного з верстатних модулів трансробот рухається до цього верстата і позиціюється відносно приверстатного модуля вільним вантажним рольгангом. Касета з обробленими деталями переміщується на вільну позицію. Після цього трансробот

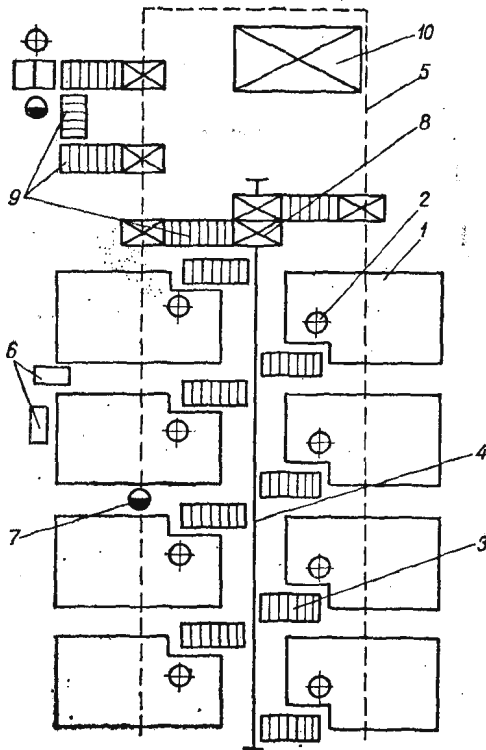


Рис. 5.9. Схема планування роботизованої технологічної системи з АТСС для механічної обробки хрестовилів:

1 — технологічне обладнання (токарно-револьверні напівавтомати); 2 — верстатний маніпулятор «Електроніка НЦТМ-01»; 3 — приверстатний накопичувач; 4 — монорейка для трансробота; 5 — підвісний вантажонесучий конвейер ГН-200Д-50; 6 — пульт управління верстатом; 7 — робоче місце; 8 — монорейковий трансробот РТП; 9 — модулі конвейерного маніпулятора моделі СМТК-160; 10 — управляючий обчислювальний комплекс на базі СМ-1800.

позиціюється відносно звільненої позиції у верстаті рольгангом, завантажений касетою з заготовками, і передає цю касету приверстатному модулю.

Модуль точного позиювання забезпечує точне розміщення касети відносно верстатного робота. Заготовки захоплюються у визначеній послідовності схватом верстатного робота і після повної обробки хрестовини встановлюються на касету. Час обробки заготовок, що містяться в одній касеті, 40...45 хв. Транспорт із касетою з деталями повертається у вихідне положення. Після позиювання відносно модулів СМТК-150, касета переміщується по рольгангах транспортних модулів до модуля підйому, за допомогою якого завантажується на першу вільну підвіску конвейера.

Одночасно з обслуговуванням верстата здійснюється пошук на конвейерному складі касет з заготовками, які знімаються з кон-

вейера модулем підйому СМТК-150, розміщеним з протилежного боку, після чого касети передаються на транспортний модуль. Після повернення трансробота у вихідну позицію, одночасно з передачею касети деталей на конвейєр, здійснюється транспортування на другу вантажну позицію трансробота касети з заготовками.

Таким чином, здійснюється паралельна робота і суміщення часу роботи конвейєра, модулів СМТК-150 і трансробота. Після завантаження трансробота він очікує наступного сигналу на обслуговування верстата, і цикл повторюється.

Управління роботою РТК з АТСС здійснює управляючий обчислювальний комплекс (УОК), який забезпечує узгоджену роботу технологічного обладнання і АТСС, а також необхідне блокування верстатів, верстатних маніпуляторів, трансробота, модулів СМТК-150 і конвейєра ГН 250Д-50.

З метою контролю виконання і коректування змінно-добового завдання система управління виконує облік кількості оброблених деталей і кількості заготовок, що надходять на дільницю, з видачею цих даних на відеотермінал на вимогу оператора.

Основними техніко-економічними перевагами роботизованої дільниці з АТСС порівняно з традиційним виробництвом є те, що скорочуються чотири одиниці технологічного обладнання, зменшується більш ніж на 30% виробнича площа, вивільняється робоча сила, збільшуються розрахункові коефіцієнти змінності і завантаження технологічного обладнання, підвищується рівень автоматизації виробництва та ін.

Річний економічний ефект 118 тис. крб. Витрати на впровадження становлять 50 тис. крб.

## **5.4. Техніко-економічне обґрунтування створення ГВС**

Приклад оптимального варіанта організації дільниці механообробки деталей за економічними критеріями наведемо для гнучкої дільниці обробки деталей типу «тіла обертання» (див. п. 5.3.1).

### **5.4.1. ХАРАКТЕРИСТИКА РОЗРАХУНКОВИХ ВАРІАНТІВ**

#### **1. Варіант «А»**

Річна програма деталей на дільниці дрібних серій цеху № 1 виробляється на універсальному металообробному обладнанні з ручним управлінням, до складу якого входять: токарні верстати; токарно-револьверні верстати; токарно-револьверні напівавтомати; вертикально-фрезерні верстати; горизонтально-фрезерні верстати; радіально-свердлильні верстати.

Транспортно-перевантажувальні роботи, а також встановлення заготовок на верстати та зняття їх здійснюються вручну. Тара з

## Вихідні дані для розрахунку економічного ефекту

№ п/п	Назва даних	Варіант «А» (універсальне обладнання з РУ)	Варіант «Б» (верстати з ЧПУ з руч- ним заван- таженням)	Варіант «В» (ГАД)
1	2	3	4	5
1	Річна програма, шт.	255000	255000	255000
2	Кількість деталей, од.	105	105	105
3	Трудомісткість річного обсягу випуску деталей по операціях люд/год:			
	— токарна	32576	27146	21544
	— фрезерна	14865	12313	—
	— свердлильна	6809	5640	—
	— фрезерно-свердлильна (на ОЦ) з ЧПУ	—	—	10772
4	Вартість проектних робіт, крб.	—	—	435200
5	Виробнича площа, м <sup>2</sup>	1300	622	504
6	Коефіцієнт завантаження об- ладнання	0,6	0,7	0,8
7	Кількість змін	2	2	3
8	Обслуговуючий персонал			
	а) основні робітники			
	— токарні (оператори)	18	15	5
	— фрезерувальники	8	8	—
	— свердлувальники	4	4	—
	б) допоміжні робітники	12	7	3
	в) ІТП та службовці:			
	— начальник дільниці	1	1	1
	— майстер зміни	2	2	1
	— оператор ЕОМ СМ	—	—	3
	— інженер з електроніки	—	—	1
	— начальник ЕОМ	—	—	1
9	Кількість одиниць обладнання, в т. ч. по типах:			
	— токарні	11	9	6
	— фрезерні	6	5	—
	— свердлильні	3	3	—
	— ОЦ	—	—	3
10	Вартість одиниці обладнання, тис. крб.			
	— токарний з ЧПУ 16К20Ф3	—	43,0	—
	— фрезерний з ЧПУ 65А80Ф4	—	105,8	—
	— свердлильний з ЧПУ 2550Ф2	—	65,4	—
	— ГВМ на базі 16А20Ф3РМС239	—	—	68,0
	— ОЦ мод. 2204. ВМФ4	—	—	140,3
	— універсальне обладнання	10,0	—	—
11	Вартість обчислювальної тех- ніки ДОК, тис. крб.	—	—	16,0
12	Вартість підіймально-транспорт- ного обладнання, тис. крб.			
	— кран-балка	3,2	3,2	—
	— електрокар	0,4	0,4	—
	— візок ручний	0,2	0,2	—
	— АТСС: склад	—	214,0	214,0

1	2	3	4	5
	трансробот	—	—	14,8
	транспортний шлях	—	—	10,2
	модулі СМТК-150	—	15,3	15,3
	накопичувачі	—	—	67,2
	касети	—	—	78,4
	тара спеціальна	—	2,0	—
	СМТК-150	—	—	6,6
	— робоче місце комплектувальника деталей для оброблюючих центрів	—	—	9,0
	— прилади	—	—	2,0
13	Середня ремонтоскладність одиниці обладнання, о. р. с.			
	— механічна частина	14	27	40
	— електрична частина	9	11	60
14	Термін роботи обладнання до капітального ремонту, років	10	11	12
15	Клас точності обладнання	н	п	п
16	Середня потужність одиниці обладнання, кВт	6,7	7,5	11,0

заготовками, напівфабрикатами, деталями зберігається на підлозі виробничого приміщення. Переміщення тари здійснюється з допомогою цехових видів транспорту. Коефіцієнт завантаження верстатів 0,6.

## 2. Варіант «Б»

Згідно з рекомендаціями для обробки річної програми сформована дільниця з верстатів ЧПУ. Завантаження—розвантаження верстатів здійснюється вручну. Зберігання заготовок, напівфабрикатів, деталей та технологічного оснащення передбачається в автоматизованому складі, що обслуговується оператором.

Використання верстатів з ЧПУ дасть змогу підвищити продуктивність праці, довести коефіцієнт до 0,7, вивільнити виробничі площі.

## 3. Варіант «В» (проектний)

У проектному варіанті обробка річної програми повинна здійснюватись на ГВМ та оброблювальних центрах (ОЦ). Завантаження та розвантаження деталей на ГВМ здійснюватиметься роботом, а на ОЦ — вручну. Всі транспортно-складські операції на дільниці будуть здійснюватися за допомогою АТСС-50 на базі автоматизованого складу виробництва НРБ, що управляється від ЕОМ.

Використання ГВМ дасть змогу підвищити коефіцієнт змінності на дільниці до 2,5, коефіцієнт завантаження обладнання до 0,8, підвищити продуктивність праці в 1,26 раза порівняно з варіантом «Б».

Вихідні дані для розрахунку економічного ефекту по варіантах «А», «Б», «В» наведені в табл. 5.4—5.6.

Таблиця 5.5

№ п/п	Назва даних	Нормативні дані для розрахунку	Варіант «А» (універсальне обладнання з РУ)	Варіант «В» (верстати з ЧПУ і ручн. зав'язатжен.)	Варіант «В» (ГАД)
1	2	3	4	5	6
1	Ефективний річний фонд часу роботи обладнання, год	Фоб.	4055	3935	5835
2	Кількість змін	—	2	2	3
3	Коефіцієнти завантаження обладнання	—	0,6	0,7	0,8
4	Коефіцієнт, що враховує витрати на доставку та встановлення обладнання	α	1,1	1,1	1,1
5	Зартість 1 м <sup>2</sup> площі цеху, тис. крб.	Ц <sub>пл.</sub>	0,236	0,236	0,236
6	Вартість 1 м <sup>2</sup> службово-побутових приміщень, тис. крб.	Ц <sub>сл.</sub>	0,225	0,225	0,225
7	Площа службово-побутових приміщень, що припадає на 1 працюючого, м <sup>2</sup>	S <sub>сл.</sub>	6	6	6
8	Нормативи середньорічної зарплати:	Ур			
	— верстатників		2835	—	—
	— операторів-наладчиків		—	3320	3320
	— електромонтерів та електроніків		2912	2912	2912
	— допоміжних робітників		1425	1425	1425
	— ІТП		2780	2780	2780
9	Ефективний річний фонд часу робітника		1840	1840	1840
10	Коефіцієнт амортизаційних відрахувань на повне відновлення обладнання				
	— основне технологічне обладнання		6,7	7,1	7,1
	— транспортно-складське обладнання		7,9	9,9	12,0
	— ЕОМ і технічні засоби АСУ		—	—	10,0
11	Вартість утримання та амортизації приміщень у розрахунку на 1 м <sup>2</sup> площі механічних цехів, крб.		25	25	25
12	Норматив витрат на одиницю ремонтоскладності обладнання, крб.				
	— механічної частини		30,1	28,9	28,9
	— електричної частини		7,4	7,5	7,5
13	Річні витрати на технічне обслуговування і ремонт ППУ, тис. крб.		—	0,996	0,996
14	Вартість 1 кВт-год електроенергії	С <sub>е</sub>	0,02	0,02	0,2
15	Нормативний коефіцієнт ефективності капітальних вкладень	Е <sub>н</sub>	0,15	0,15	0,15

Як показують дані цих таблиць, оптимальним варіантом є варіант «В», тобто гнучка автоматизована діляниця, до складу якої включені ГВМ та оброблювальні центри, з автоматизованою транспортно-складською системою. Річний економічний ефект її впровадження становить 99 тис. крб.



## Розрахунок річного економічного ефекту

№ п/п	Назва показника	Формула розрахунку	Варіант «А»	Варіант «Б»	Варіант «В» (ГАД)
1	2	3	4	5	6
1.	Капітальний вклад, тис. крб.	$K = K_{об} + K_{инт} + K_{ап} + K_{с.л} + K_{ж}$	224,2 + 366,8 + 60,8 + 60,8 + 297,0 = 883,8	1458,9 + 146,9 + 50,0 + 244,2 = 1899,9	1346,9 + 703,5 + 118,9 = 18,9 + 92,4 = 2280,6
1.1.	Вартість обладнання, тис. крб.	$K_{об}$	224,2	1458,9	1346,9
1.2.	Кошторисна вартість проектування, тис. крб.	$K_{инт}$	—	—	703,5
1.3.	Вартість виробничої площі, тис. крб.	$K_{ап} = C_{пл} \cdot S$	$0,236 \times 1300 = 306,8$	$0,236 \times 622 = 146,8$	$0,236 + 504 = 118,9$
1.4.	Вартість службово-побутових приміщень, тис. крб.	$K_{с.л} = C_{с.л} \times S_{с.л} \times P_о$	$0,225 \times 6 \times 45 = 60,8$	$0,225 + 6 \times 37 = 50,0$	$0,225 \times 6 \times 14 = 18,9$
1.5.	Вартість житлового і культурно-побутового будівництва, тис. крб.	$K_{ж} = C_{ж} \times P_о$	$6,6 \times 45 = 297,0$	$6,6 + 37 = 244,2$	$6,6 \times 14 = 92,4$
2.	Собівартість річного об'єму випуску продукції по змінних статтях, тис. крб.	$C = B_а + B_а + B_{инт} + B_{гр} + B_е + B_{тр} + B_{от} + B_е$	126,0 + 15,1 + 39,3 + 9,8 + 0,2 + 2,3 = 192,7	123,1 + 110,3 + 21,1 + 31,6 + 11,8 + 2,5 = 300,4	42,8 + 116,7 + 14,7 + 22,8 + 20,9 + 0,3 + 3,3 = 221,5
2.1.	Витрати на зарплату, тис. крб.	$B_а$	126,0	123,1	42,8
2.2.	Амортизаційні відрахування, тис. крб.	$B_а$	15,1	110,3	116,7
2.3.	Амортизація і утримання приміщень, тис. крб.	$B_{инт} + H_{пл} \times S$	$0,02 + 1300 = 6 \times 45 = 39,3$	$0,025 \times 622 + 6 \times 37 = 21,1$	$0,25 \times 504 = 6 \times 14 = 14,7$
2.4.	Ремонт і утримання технологічного обладнання, тис. крб.	$B_{гр}$	9,8	31,6	22,8
2.5.	Ремонт і утримання підйомно-транспортного і складського обладнання, тис. крб.	$B_{тр} = K_{тр} \times Ч_{тр}$	$3,8 \times 0,05 = 0,2$	$235,1 \times 0,05 = 11,8$	$417,5 \times 0,05 = 20,9$
2.6.	Ремонт і утримання засобів обчислювальної техніки, тис. крб.	$B_{от} = K_{от} \times Ч_{от}$	—	—	$16 \times 0,02 = 0,3$
2.7.	Витрати на електроенергію, тис. крб.	$B_е$	2,3	2,5	3,3
3	Додатковий прибуток, що створюється вивільненнями робітниками при	$\Delta P$	—	$3,5 \times 12 = 42$	$3,5 \times 22 = 77$

Закінчення табл. 5.6

1	2	3	4	5	6
3.1.	використанні їх на інших ділянках підприємства для випуску додаткового обсягу продукції, тис. крб.	$m_{\#}$	3,5	3,5	3,5
3.2.	Норматив ефективності трудових ресурсів, що відповідає розміру балансового прибутку, який припадає на одного робітника, тис. крб.	$P$	39	27	5
3.3.	Кількість основних робітників в порівняльних варіантах, чол.	$\Delta P$	—	12	22
3.4.	Кількість звільнених робітників, що переведені на недовантажені ділянки підприємства, чол.	$Z_{\text{пр}} = C + E_{\#} \times K + T_{\#} \times P$	$192,7 + 0,15 \times 888,8 + 3,5 \times 30 = 431$	$300,4 + 0,15 \times 1899,9 + 3,5 \times 27 = 680$	$221,5 + 0,15 \times 2280,6 + 3,5 \times 5 = 581$
4.	Приведені витрати, тис. крб.	$E_p = \frac{K}{C}$	—	—	$3004 - 221,5 = 2280,9 - 1899,9 = 40,20'$
5.	Розрахунковий коефіцієнт загальної економічної ефективності	$E_p = C_1 - C_2 - E_{\#} \times K_2 - K_1 + T_{\#} \times P_1 - P_2$	—	$192,7 - 300,4 - 0,15 \times 1899,9 - 888,8 + 3,5 \times 30 - 27 = -249$	$300,4 - 221,5 - 0,15 \times 2280,6 - 1899,9 + 3,5 \times 27 - 5 = 99$
6.	Сумарний річний економічний ефект від впровадження ГАД, тис. крб.	$T_{\text{ок}} = \frac{1}{E_p}$	—	—	$T_{\text{ок}} = \frac{1}{99} = 0,0101$
6.	Термін окупності витрат, років				$\frac{1}{0,0101} = 9,9$

1. Автоматизированные технологические комплексы «оборудование—робот»: Метод. рекомендации. М., 1981.
2. Балакшин Б. С. Теория и практика технологии машиностроения. М., 1982. Т. 1, 2.
3. Агбель В. О., Егоров В. А., Звоницкий А. Ю. Гибкое автоматизированное производство / Под общ. ред. Майорова С. А., Орловского Г. В. Л., 1985.
4. Горанский Г. К., Бендерова Э. И. Технологическое проектирование в комплексных автоматизированных системах подготовки производства. М., 1981.
5. Кендэл М. Ранговые корреляции. М., 1972.
6. Лукашин Ю. П. Адаптивные методы краткосрочного прогнозирования. М., 1979.
7. Итрофанов С. П. Групповая технология машиностроительного производства: В 2 т. Л., 1983. Т. 1.
8. Сергиенко И. В. Пакет прикладных программ для обработки и анализа данных методами теории вероятности и математической статистики на ЕС ЭВМ (ДЕЛТАСТАТ). К., 1985.
9. Справочник технолога-машиностроителя / Под ред. Косиловой А. Г. и Мещерякова Р. К.: В 2 т. М., 1985. Т. 2.
10. Четыркин Е. М., Калихман И. Л. Вероятность и статистика. М., 1978.
11. Четыркин Е. М. Статистические методы прогнозирования. М., 1977.
12. Янч Э. Прогнозирование научно-технического прогресса. Пер. с англ. М., 1974.

# ЗМІСТ

---

ВІД АВТОРІВ . . . . .	3
<b>Розділ 1. ОСНОВНІ ПОЛОЖЕННЯ ТА СТРУКТУРА ГНУЧКИХ ВИРОБНИЧИХ СИСТЕМ . . . . .</b>	<b>5</b>
1.1. Загальні відомості . . . . .	5
1.2. Організаційна та функціональна системи . . . . .	6
1.3. Принципи побудови ГВС . . . . .	8
1.4. Техніко-економічні показники ГВС . . . . .	11
<b>Розділ 2. ТЕХНОЛОГІЧНЕ ОБЛАДНАННЯ, АВТОМАТИЗОВАНІ ТРАНСПОРТНО-СКЛАДСЬКІ СИСТЕМИ, СИСТЕМИ УПРАВЛІННЯ ГВС ТА ЇХ ФУНКЦІОНАЛЬНЕ ПРИЗНАЧЕННЯ . . . . .</b>	<b>16</b>
2.1. Технологічне обладнання ГВС механічної обробки . . . . .	16
2.2. Автоматизовані транспортно-накопичувальні та складські системи ГВС . . . . .	21
2.3. Системи управління ГВС . . . . .	29
2.4. Основні положення вибору компонентів ГВС . . . . .	31
<b>Розділ 3. ІНТЕГРОВАНА СИСТЕМА ТЕХНОЛОГІЧНОЇ ПІДГОТОВКИ ГВС . . . . .</b>	<b>33</b>
3.1. Загальні положення . . . . .	33
3.2. Відпрацювання конструкції виробу на технологічність з урахуванням вимог ГВС . . . . .	34
3.3. Проектування заготовок для ГВС . . . . .	36
3.4. САПР ТП в умовах функціонування ГВС . . . . .	37
3.5. Системи автоматизованого програмування управляючих програм технологічного обладнання ГВС . . . . .	39
3.6. САПР технологічного оснащення . . . . .	43
3.7. Технологічне проектування ГВС та організація її роботи . . . . .	45
<b>Розділ 4. МАТЕМАТИЧНЕ МОДЕЛЮВАННЯ ГНУЧКИХ ВИРОБНИЧИХ СИСТЕМ . . . . .</b>	<b>50</b>
4.1. Математичне моделювання гнучких виробничих модулів . . . . .	50
4.2. Вибір компоновочних рішень ГВМ обробки деталей типу «тіла обертання» . . . . .	57
4.3. Математичні моделі проектування структурно-компоновочних рішень ГВС . . . . .	68
4.4. Економіко-математична модель проектування ГВС . . . . .	80
4.5. Дослідження математичних моделей на адекватність . . . . .	84
4.5.1. Постановка задачі . . . . .	84
4.5.2. Вибір кількісного і якісного складу основного технологічного обладнання ГАД (на прикладі токарних верстатів з ЧПУ) . . . . .	84
4.5.3. Вибір компоновочних рішень РТК . . . . .	89
4.5.4. Визначення оптимальних структурно-компоновочних рішень ГАД . . . . .	100
4.5.5. Економіко-математичний аналіз структурно-компоновочних рішень ГАД обробки деталей типу «вал» і «вал—шестірня» . . . . .	107

Розділ 5. ПРОЕКТУВАННЯ І СТВОРЕННЯ ГВС В УМОВАХ ДІЮЧОГО ВИРОБНИЦТВА . . . . .	111
5.1. Основні етапи проектування ГВС . . . . .	111
5.2. Прогнозування конструктивно-технологічних характеристик об'єктів виробництва ГВС . . . . .	123
5.3. Приклади діючих гнучких виробничих систем на ВО «Конвейер» . . . . .	130
5.3.1. Гнучка автоматизована дільниця механічної обробки деталей «тіла обертання» . . . . .	131
5.3.1.1. Склад і призначення систем ГАД . . . . .	132
5.3.1.2. Номенклатура і характеристика оброблюваних деталей . . . . .	135
5.3.1.3. Трудомісткість транспортної партії деталей . . . . .	135
5.3.1.4. Підготовка дільниці до роботи . . . . .	136
5.3.1.5. Робота ГАД в автоматичному режимі . . . . .	137
5.3.2. Роботизована технологічна дільниця з автоматизованою транспортно-складською системою для механічної обробки деталей типу «хрестовина» на ВО «Конвейер» . . . . .	139
5.4. Техніко-економічне обґрунтування створення ГВС . . . . .	141
5.4.1. Характеристика розрахункових варіантів . . . . .	141

МОНОГРАФИЯ

ГУЛИДА Эдуард Николаевич  
ЯДЧЕНКО Александр Алексеевич  
СТУПНИЦКИЙ Вадим Владимирович

**ГИБКИЕ  
ПРОИЗВОДСТВЕННЫЕ СИСТЕМЫ  
ДЛЯ МЕХАНИЧЕСКОЙ ОБРАБОТКИ**

Львов. Издательство «Світ»  
при Львовском госуниверситете  
(На украинском языке)

Оформлення

та художнє редагування О. М. Козака,  
Технічний редактор С. Д. Довба  
Коректор Л. М. Коновалюк

ИБ № 26

Здано до набору 06.07. 91. Підп. до друку 06.03.92.  
Формат 60×90/16. Папір друк. № 1. Літ. гарн.  
Вис. друк. Умовн. друк. арк. 9,5. Умовн. фарб.-  
відб. 9,87. Обл.-вид. арк. 9,88. Тираж 500 прим.  
Вид. № 17. Зам. 3202.

Видавництво «Світ»  
при Львівському держуніверситеті  
290000 Львів, вул. Університетська, 1.

Львівська обласна книжкова друкарня.  
290000 Львів, вул. Стефаніка, 11.

Е. М. ГУЛІДА, О. О. ЯДЧЕНКО,  
В. В. СТУПНИЦЬКИЙ

**ГНУЧКІ  
ВИРОБНИЧІ  
СИСТЕМИ  
ДЛЯ МЕХАНІЧНОЇ  
ОБРОБКИ**

Л Ь В І В

ВИДАВНИЦТВО «СВІТ»

1992