

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ  
ДНІПРОДЗЕРЖИНСЬКИЙ ДЕРЖАВНИЙ ТЕХНІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ

Білоус О.І.

КОНСПЕКТ ЛЕКЦІЙ

із дисципліни

« ТЕХНОЛОГІЧНІ ЛІНІЇ ТА КОМПЛЕКСИ МЕТАЛУРГІЙНИХ ЦЕХІВ »

для студентів напряму 6.050503

“Машинобудування”

денної та заочної форм навчання

Затверджено  
редакційно-видавничою секцією  
науково-методичної ради ДДТУ

12.02.2015 протокол № 1

Дніпродзержинськ

2015

## ПЕРЕДМОВА

---

Метою викладання курсу «Технологічні лінії й комплекси металургійних цехів» є забезпечення студентів, як майбутніх фахівців, знаннями основ закономірностей побудови й тенденцій розвитку технологічних ліній металургійного виробництва, необхідних їм для виробничої, проектно-конструкторської й дослідницької діяльності.

Задачами дисципліни є знання наукових основ конструювання ліній, структури існуючих і перспективи розвитку технологічних ліній, і комплексів металургійних цехів;

- виконання розрахунків по оптимізації ліній;
- уміння вибору типів машин і їхньої кількості для ліній, і комплексів металургійних цехів;
- уміння вибрати, і виконати необхідні техніко-економічні розрахунки по оцінці існуючих, реконструйованих і проєктованих ліній.

Головний напрямок у розвитку чорної металургії складається в підвищенні технічного рівня, концентрації й ефективності виробництва шляхом подальшого росту продуктивності праці, поліпшення якості й розширення сортаменту продукції, що випускається, модернізації діючих і введення в експлуатацію нових металургійних агрегатів, і встаткування, збільшення їхньої одиничної потужності, розробкою, і впровадженням нових технологічних процесів.

Виробництво чорних металів, а також їхня прокатка здійснюються в металургійних агрегатах і машинах, об'єднаних у єдину технологічну схему, який найбільше повно відповідає великий металургійний завод-комбінат, де здійснюються основні стадії виробництва: підготовка сировини до плавки, виплавка чавуну й сталі й виробництво прокату у виді листової й сортової продукції, труб і профілів спеціального призначення.

У створенні металургійних агрегатів за останні роки визначилися три основних напрямки: 1) будівництво агрегатів збільшеної одиничної продуктивності або потужності, що підвищує продуктивність праці, і знижує питомі витрати; 2) створення або вдосконалення агрегатів, які забезпечують поліпшення якості продукції, що випускається; 3) створення агрегатів для принципово нових технологічних процесів. Ефект від цього особливо значний, коли вдається замінити традиційний дискретний процес безперервним (наприклад, машини безперервного розливання сталі, ливарно – прокатні агрегати тощо).

Технічні об'єкти в металургії (машини, лінії, комплекси) визначаються конкретністю й функціональністю. Тому, щоб ефективно вирішувати проєктні задачі, необхідно розглядати ці об'єкти як складні системи, складені з елементів, зв'язаних між собою визначеними співвідношеннями. При

такій формалізації, з огляду на те, що їхні елементи як частини системи мають фізичні структурні зв'язки, задачі проектування варто вирішувати комплексно з урахуванням питань керування, організації й автоматизації.

У курсі лекцій викладені загальні зведення й особливості проектування, напрямку розвитку металургійних підприємств, а також розглянуті існуючі сучасні й перспективні схеми й вантажопотоки металургійних заводів, цехів, ділянок, ліній, їхні технічні показники. Приведено основні схеми й характеристики виробничих машин і агрегатів, викладені принципи компонування ділянок, і технологічних ліній цехів, і представлені розрахунки продуктивності машин, пропускну здатності з вибором складу встаткування для їхнього компонування. Розглянуто аналітичні методи й методи математичного програмування, що використовуються при проектуванні й конструюванні для досягнення оптимальних параметрів технічного об'єкта.

Будівництво нових і реконструкція діючих металургійних підприємств, і їхніх цехів безпосередньо зв'язані з підвищенням ефективності металургійного виробництва, і якості металопродукції.

Ефективність наукових і технічних досягнень, реалізованих у проекті, залежить від ефективності всього суспільного виробництва. До технічного переозброєння підприємств належить комплекс робіт, пов'язаних із поліпшенням техніко-економічних показників за рахунок упровадження передової технології, новітньої техніки, механізації й автоматизації виробничих процесів.

У результаті проектування повинний бути виконаний повний комплекс проектних рішень технічного, організаційного, соціального й економічного характеру, і комплект робочої документації для будівництва (реконструкції) металургійного підприємства. Проектування металургійних заводів, цехів і їхніх технологічних ліній, машин, і агрегатів ведеться комплексно з обліком стадійності, вибору оптимальних варіантів за критеріями продуктивності, вартості, і надійності, з використанням принципів безперервності, послідовності, концентрації, і спеціалізації з ув'язуванням перспективних планів розвитку суміжних галузей, і із застосуванням типових рішень.

## РОЗДІЛ 1. ТЕОРЕТИЧНІ ОСНОВИ ДОСЛІДЖЕННЯ Й ПРОЕКТУВАННЯ ТЕХНОЛОГІЧНИХ ЛІНІЙ І АГРЕГАТІВ

---

### 1.1. МЕТАЛУРГІЙНЕ ВИРОБНИЦТВО ЯК СКЛАДНА СИСТЕМА ДИСКРЕТНИХ І БЕЗПЕРЕРВНИХ ТЕХНОЛОГІЧНИХ ЛІНІЙ

Технологічним процесом називається процес впливу на предмет праці з метою зміни його властивостей, форми, розмірів. Цей вплив здійснюють за допомогою технологічного встаткування, що поділяється на апарати й машини.

В апаратах здійснюються процеси, що відбуваються за рахунок хімічних і інших реакцій, або зв'язані із впливом на оброблюваний об'єкт якого-небудь силового поля (теплого, електричного й ін.).

У машинах здійснюються процеси, засновані на механічній роботі зі зміни форми, положення, розмірів, структури й інших властивостей оброблюваних об'єктів.

*Розподіл технологічних процесів на машинні й апаратні є умовним, оскільки в металургійному виробництві механічна обробка з'єднується з нагріванням, охолодженням, масообміном, хімічними реакціями (доменний процес, обробка металів тиском, безперервне лиття тощо).*

Розрізняють безперервні й дискретні або переривані-операційні технологічні процеси.

Безперервним процесом називається такий технологічний процес, при якому готовий продукт одержують із сировини шляхом послідовних, зв'язаних в одне ціле, технологічних операцій або фаз.

Дискретним процесом називається такий періодичний технологічний процес, при якому між необхідними операціями для одержання готового продукту маються розриви в часі, необхідні для виконання ряду допоміжних операцій (завантаження й розвантаження, фізико-хімічних, механічних і ін.). Дискретні процеси характерні для випуску штучної продукції.

Для механізації основних технологічних операцій служать робочі машини. Робочою машиною називають єдиний комплекс механізмів, що здійснює задану програму роботи з виробництва продукту. Робоча машина складається із привода, виконавчого механізму й проміжних пристроїв. Крім робочих машин розрізняють транспортні машини, машини-двигуни, інформаційні машини й особливий клас машин-автоматів – промислові роботи.

Агрегатом (машинним) називається кілька машин, що працюють у комплексі, і виконують визначені функції в технологічному процесі. Безперервним агрегатом є такий агрегат, у якому машини являють собою систему взаємозалежних механізмів і немеханічних пристроїв,

що перетворюють сировину в готовий виріб шляхом послідовних переходів з одного стану в інший. У зв'язку із прогресом науки й техніки в даний час з'явилися також машини контрольно - керуючі, логічні й кібернетичні (самонастроювальні).

По ступені автоматизації розрізняють технологічні машини: прості, напівавтоматичні, автоматичні й кібернетичні.

Якщо основні технологічні операції здійснюються машиною при активній участі людини, то машину називають простою. Робочі машини, у яких усі операції виконуються механізмами без участі людини, що здійснює тільки контроль за їх роботою, а іноді й керування, називають машинами – напівавтоматами. Система механізмів і пристроїв, у якій цілком механізовані процеси передачі, перетворення, і використання енергії, матеріалу й інформації (контролю) називають машиною – автоматом.

Якщо автомат має здатність робити логічні операції, і сам виробляти програму дій з урахуванням перемінних умов протікання технологічного процесу, то його називають кібернетичним.

Система машин, що складається з напівавтоматів і автоматів, де людина здійснює налагодження машин, контроль за протіканням технологічного процесу, і виправлення виникаючих неполадок, утворює потоківу лінію. При цьому ряд операцій транспортування, збирання й ін. може виконуватися вручну.

Автоматичною лінією називається автоматична система машин, розташованих у технологічній послідовності, об'єднаних автоматичними засобами транспортування, контролю, керування, упакування і т.п., крім налагодження. Подальший розвиток автоматичного керування виробництвом приводить до програмування технологічного процесу, тобто до створення систем машин і пристроїв, керуючих процесом, і забезпечуючих програмою режиму, що задається в математичній формі або записаній на програмоносієві.

## **1.2. ТЕХНІКО-ЕКОНОМІЧНА ДОЦІЛЬНІСТЬ ЗАСТОСУВАННЯ ТЕХНОЛОГІЧНИХ ЛІНІЙ І КОМПЛЕКСІВ У МЕТАЛУРГІЙНИХ ЦЕХАХ**

Застосування в чорній металургії поточкових, безперервних і автоматичних ліній є досить економічним унаслідок різкого підвищення продуктивності праці, підвищення виходу придатного продукту при одночасному підвищенні якості, поліпшення умов праці, зниження втрат тепла, зменшення довжини заводських комунікацій, тощо. Крім того, надаються всі умови для максимальної автоматизації виробництва.

Наприклад, застосування МБЛЗ дозволяє цілком виключити застосування виливниць; скоротити виробничі площі для розливання металу; зменшити довжину заводських комунікацій; підвищити якість литого металу, наблизивши його до якості обтиснутого; полегшити працю обслуговуючого персоналу; скоротити транспортні операції; механізувати й автоматизувати

процес розливання сталі; розвантажити обтискні стани (блюмінги й слябінги), а у визначених умовах обійтися й без них.

Застосування ліній дозволяє зменшити втрати в механізмах, знос деталей і вузлів, знизити потужність привода за рахунок зменшення, або відсутності динамічних навантажень при перехідних процесах (розгін-гальмування).

Практика застосування безперервних ліній у промисловості дозволяє виявити при яких умовах їхнє застосування доцільне й економічно вигідно й що необхідно для їхньої успішної реалізації:

- будь-який безперервний процес припускає розчленовування процесу виробництва на ряд послідовних технологічних операцій, виконуваних в окремих спеціалізованих апаратах (машинах). Чим більше операцій у даному процесі, тим більше буде потрібно відповідних апаратів (машин) і тем складніше вийде лінія;

- безперервні процеси найбільш прості в організації й ефективні, коли об'єкт обробки й продукт реакції є газами або рідинами, здатними самостійно пересуватися по технологічній лінії;

- вузька спеціалізація встаткування й виробництва в цілому, мінімальна кількість видів продукції, що випускаються – характерна риса масового виробництва, що забезпечує одержання найкращих економічних показників;

- для сучасного етапу розвитку промисловості характерний швидкий технічний прогрес, що виражається в безперервному відновленні методів виробництва й продукції, що випускається. Конструкція лінії безперервної дії повинна забезпечувати можливість удосконалення процесу, заміни на ходу окремих конструктивних елементів і вузлів швидко, і з мінімальними витратами;

- перехід на безперервний процес – це перехід на нову ступінь культури виробництва. Строга регламентація безперервного виробництва висуває підвищені вимоги до надійності встаткування, до якості вихідного продукту й реагентів, що вводяться в процес; безперервний процес змінює умови роботи апаратури. Умови роботи при цьому є незмінними, тоді як при дискретному процесі ці умови діють протягом деякого проміжку часу.

Основні переваги безперервного процесу в порівнянні з періодичним наступні:

- 1) підвищується якість продукції, оскільки при поділі процесу на ланки ефективніше протікають процеси обробки, підвищується однорідність продукту – знижуються коливання його фізико-механічних або хімічних властивостей, і складу внаслідок рівномірності плин безперервного процесу ;

- 2) зменшуються відходи, і втрати продукту й краще використовуються сирі матеріали, тому що можна добре організувати кожну технологічну операцію;

- 3) різко полегшується повне використання побічних продуктів (тепла, газів, тощо) що безперервно виділяються;

- 4) рівномірний плин безперервного процесу полегшує керування їм, чим істотно спрощується автоматизація процесу; тому що на її частку

залишається лише підтримка на заданому рівню параметрів процесу, чим забезпечується точне дотримання технологічного режиму;

5) покращується використання основного технологічного встаткування унаслідок відсутності простоїв при завантаженні сирих матеріалів, і вивантаженні продукції, а також ведення процесу на граничній інтенсивності;

6) полегшується механізація процесу шляхом застосування безупинно діючих пристроїв і машин.

### *Удосконалювання сучасних металургійних агрегатів і технологій*

Виробництво чавуну. Велике значення мають питання підвищення якості шихтових матеріалів, підвищення температури дуття й тиску газу на колошнику, розширення використання кисню, природного газу й гарячих газів, що відходять.

Виробництво сталі. Найбільш важливими тенденціями розвитку сталеплавильного виробництва є: переважний ріст виплавки сталі в кисневих конвертерах, збільшення потужності агрегатів, удосконалення технології плавки, розширення сортаменту виплавлюваних сталей; ріст виплавки сталі в електропечах, збільшення їхньої потужності, удосконалення технології; розвиток позапічних методів рафінування сталі; інтенсивний розвиток процесів безперервного розливання сталі; розробка варіантів безперервного сталеплавильного процесу.

Виробництво прокату. Особливістю прокатного виробництва на даному етапі є: різке збільшення масштабів використання, як вихідного металу, заготівель із МБЛЗ; використання для нагрівання металу печей із крокуючим подом, а також з електрообігріванням; максимально можлива реалізація принципу безперервності технологічних операцій при прокатці й обробці; розширення й оптимізація сортаменту прокатної продукції (збільшення частки листового прокату, випуск нових фасонних профілів, виробництво прокату з покриттями і т.п.); підвищення механічних властивостей, точності розмірів і поліпшення стану поверхні прокату. Одержує поширення прокатка у вакуумі для виробництва біметалів (титан-нержавіюча сталь, сталь-срібло тощо).

Перспективні схеми виробництва металу. У найбільш розвинутих промислових країнах світу ведуться роботи зі створення безперервного сталеплавильного процесу й агрегату для його реалізації – САБД. У безперервному агрегаті з'єднані у єдиний цикл всі процеси від витоплювання чавуну до прокатування, перетворені в єдиний агрегат САБД, машина безперервного лиття й прокатний стан. Розроблено новий відновлювальний процес, де кокс замінений недефіцитним енергетичним вугіллям, а металізовані окатиші - порошкоподібним залізородним концентратом. Практичне застосування одержують у промисловості й інші схеми: виробництво сирих окатишів і їхній зміцнювальний випал, одержання металізованих окатишів у шахтних печах, і їхній переплав у сталь в електропечах.

**Контрольні питання**

1. Переваги безперервних технологічних ліній.
2. Удосконалювання сучасних металургійних агрегатів і технології.
3. Перспективні схеми виробництва металу.



## РОЗДІЛ 2. СИСТЕМНИЙ ПІДХІД ДО ПРОЕКТУВАННЯ ТЕХНІЧНИХ ОБ'ЄКТІВ

---

### 2.1. СИСТЕМНИЙ ПІДХІД ДО ВИВЧЕННЯ Й АНАЛІЗУ ТЕХНОЛОГІЧНИХ ЛІНІЙ

Складною системою вважається така система, у якій мається велика кількість взаємозв'язаних і взаємодіючих між собою елементів, що забезпечують виконання системою деякої досить складної функції. Металургійний завод як технологічна система – це сукупність взаємозалежних потоків енергії, матеріалів і інформації, що діє як єдине ціле, у якому здійснюється визначена послідовність технологічних процесів.

Вивчення процесів функціонування великих виробничих комплексів з автоматизованим управлінням, систем обробки інформації й управління, обчислювальних комплексів, призначених для рішення економічних і інженерних задач, а також деяких біологічних задач обумовило виникнення поняття складної системи. Відмітними ознаками складних систем є:

- 1) наявність великої кількості взаємозв'язаних і взаємодіючих між собою елементів;
- 2) складність функції, виконуваною системою й спрямованою на досягнення заданої мети функціонування;
- 3) можливість розчленовування системи на підсистеми, мети функціонування яких підлегли загальній меті функціонування всієї системи;
- 4) наявність управління, розгалуженої інформаційної мережі й інтенсивних потоків інформації;
- 5) наявність взаємодії із зовнішнім середовищем, і функціонування в умовах впливу випадкових факторів.

Приклади: телефонна автоматична мережа, міський пасажирський і вантажний транспорт разом із магістралями, перехрестями, засобами регулювання вуличного руху, і ремонту рухливого складу; енергетичні комплекси й гідротехнічні вузли; великі морські й авіаційні порти з устаткуванням керування; виробничий процес великого підприємства, оснащеного засобами механізації трудомістких робіт і автоматизації керування виробничими операціями й технологічними циклами тощо.

Елементом складної системи вважається об'єкт, що не підлягає подальшому розчленовуванню на частини. Властивості елемента визначають його взаємодія з іншими елементами системи, або впливають на властивості системи в цілому. Будь-яка сукупність елементів даної системи може розглядатися як її підсистема. Звичайно, підсистеми є самостійно функціонуючими частинами системи.

Наприклад, у виробничому комплексі підприємства можна виділити підсистеми, що відповідають окремим цехам або технологічним лініям. Міський пасажирський транспорт – система; підсистеми – тролей-

бусного, трамвайного, автобусного господарства, метрополітен, таксі тощо. Правильне виділення підсистем складної системи сприяє спрощенню розрахунків при дослідженні.

У складних системах важливу роль грають питання управління. Управління являє собою процес збору, передачі й переробки інформації. У складних системах виділяються контури управління, уздовж яких циркулюють потоки інформації (інформаційної – від елементів системи до керуючих пристроїв і керуючої – від керуючих пристроїв до елементів системи. Часто контури управління є замкнутими, і носять характер зворотного зв'язку.

Реальні складні системи функціонують в умовах дії великої кількості випадкових факторів. Джерелами випадкових факторів є вплив зовнішнього середовища, а також помилки й відхилення різних величин, що виникають усередині системи. Як зовнішні, так і внутрішні випадкові діяння впливають на режим роботи елементів системи, і можуть істотно змінювати характер її функціонування. При проектуванні й створенні складних систем, їхніх іспитах і експлуатації виникають численні задачі, що вимагають знання кількісних, і якісних закономірностей, властивих цим системам. У зв'язку із цим усе більше значення для подальшого розвитку теорії й методів проектування здобуває системний підхід до об'єктів виробництва, технологічних процесів і процесів проектування, що являють собою комплексну проблему, де в складному взаємозв'язку переплітаються задачі синтезу, моделювання, оцінки, аналізу, оптимізації й добору варіантів. Системний підхід виходить із того, що специфіка складних об'єктів і процесів укладена в характері зв'язків, і відносин між ними.

Системний підхід містить у собі такі поняття як структура, функція, стан, зв'язок, елемент, відношення, керування й ін. У зв'язку із цим системний підхід служить методом комплексного вивчення складної системи з боку того, як вони влаштовані, у яких відносинах і зв'язках знаходяться їхні частини, яка функція частин, і системи в цілому, який характер взаємодії з навколишнім середовищем.

До поняття системний об'єкт відносяться об'єкти й процеси будь-якої природи, які можна умовно або фізично розчленувати на сукупність більш простих взаємозалежних між собою частин (підсистем, елементів), що виступають як єдине ціле. Відносини характеризують зв'язки між частинами і їхніми властивостями, за допомогою яких підсистеми й елементи поєднуються в систему. У свою чергу, кожна отримана частина може розглядатися як складний об'єкт, що складається з більш простих елементів.

Складна система може бути охарактеризована як

$$T = (H, F, S, Z, U),$$

де  $H$  – зв'язки системи з навколишнім середовищем;

*F* - виконувані функції;

*S* - структура системи;

*Z* - сукупність функціональних і структурних властивостей системи;

*U* - історія функціонування й розвитку системи.

Під навколишнім середовищем розуміють сукупність об'єктів і систем, що впливають на розглянуту систему, або залежать від характеру її функціонування.

Функцію в широкому змісті визначають як здатність системи до доцільної діяльності в рамках більш складної системи, до складу якої вона входить. Функція технічної системи жорстко визначена її конструкцією на стадії її проектування.

Якісна визначеність Т-системи обумовлена її структурою, під якою розуміється сукупність стійких відносин між частинами цілісного об'єкта. Структура розглядається як єдність протилежних сторін: розчленованості й цілісності. Якісні й кількісні характеристики систем задаються сукупністю функціонально – структурних властивостей. Вони характеризують ті сторони системи, що зв'язані з її функціонуванням і структурою.

У процесі експлуатації система перетерплює визначені зміни, одні з яких погіршують значення функціональних властивостей (знижується точність, надійність), інші (ремонт, модернізація, адаптація, навчання) приводять до відновлення працездатності, удосконалюванню й розвитку системи. Сукупність тривалих, а в ряді випадків і необоротних змін системи в процесі експлуатації складає її історію.

## **2.2. КЛАСИФІКАЦІЯ ТЕХНОЛОГІЧНИХ ЛІНІЙ**

Широке поширення технологічних машин, їхня велика розмаїтість, доповнена керуючими електричними й електронно-рахунковими пристроями, утрудняють вибір оптимальних систем машин і ліній. Тому первісним і важливим етапом упорядкування цієї безлічі об'єктів повинна стати їхня класифікація. Наукова класифікація робочих машин і технологічних ліній дотепер не створена. Мається багато спроб систематизації робочих машин і ліній, однак єдності рішень не досягнуто. При всій розмаїтості класифікацій їх можна розбити на дві основні групи. До першої відносяться класифікації, у яких розглядаються не всі знаряддя праці, а тільки робочі машини. У другій групі розглядаються які-небудь ознаки механізації й автоматизації знарядь праці.

Стосовно до технологічних машин і ліній металургійного виробництва найбільш застосовна класифікація Л. Н. Кошкина, де враховується взаємозв'язок між транспортним і технологічним рухом. У машинах I класу транспортування об'єкта переривається на час виконання технологічної операції (преси, ножиці, пилки тощо). У машинах II класу існує збіг або

єдність транспортного й технологічного руху (МБЛЗ, прокатні стани, прасувальні машини тощо). Машинам III класу властива незалежність між транспортним і технологічним рухом (роторні машини, конвеєрний замкнений транспортер тощо). Тут обробка об'єкта відбувається в процесі безперервного спільного транспортування робочого інструмента й виробу. Машини IV класу забезпечують повну незалежність між транспортним і технологічним рухом. Рух об'єкта обробки необхідно лише для збереження поточності технологічного процесу (конвеєрна випалювальна машина, нагрівальні печі із крокуючим подом тощо). По ознаці безперервності дії робочі машини, а також технологічні лінії можна розділити на три класи:

I клас – машини безперервної дії з безперервним технологічним процесом;

II клас – машини безперервної дії з переривчастим технологічним процесом;

III клас – машини переривчастої дії з переривчастим технологічним процесом.

Тому що періодичність технологічного процесу зв'язана з періодичністю дії основних механізмів, то машини двох останніх класів є машинами циклічної дії (наприклад, ножиці для різання металу й тому подібне).

### **2.3. СТРУКТУРА ТЕХНОЛОГІЧНИХ ЛІНІЙ**

Структура являє собою побудову, форму організації будь-якого явища, вираження способу зв'язку елементів між собою й з усім цілим. Структура – це внутрішнє членування системи й зв'язки між її частинами, тобто їхня взаємодія.

Вибір способу розчленування системи залежить від типу розв'язуваних задач. Правильне вихідне розчленування об'єкта або процесу дозволяє найбільше просто вирішувати задачі аналізу, і синтезу технічних систем, і процесів. Види й кількість зв'язків між частинами системи багато в чому залежать від їхньої природи. У складних об'єктах (устаткуванні, машинах), наприклад, у механічних вузлах, існують кінематичні, конструктивні й розмірні зв'язки між його частинами й відповідні їм три види структур. У технологічному процесі можна виділити функціональні, тимчасові й просторові зв'язки між різними їх структурними елементами. Кожному виду зв'язків відповідає своя структура. Тому можна говорити про функціональну, тимчасову і просторову структури технологічного процесу. Розглянемо деякі моделі структур, наприклад, функціональну структуру трубокатного агрегату, що представляє собою комплекс машин і механізмів, призначених для одержання безшовних труб гарячою прокаткою, їхнього транспортування, обробки, нанесення покриття, складування, упакування й ін.

Функціональна структура технологічної лінії по виробництву безшовних труб може бути виражена формулою

$$C_{\Phi} = C_0 \varphi_1 C_1 \begin{array}{l} \varphi_2 C_2 \\ \varphi_3 C_3 \end{array} \varphi_4 C_4 \begin{array}{l} \varphi_5 C_5 \\ \varphi_6 C_6 \\ \varphi_7 C_7 \end{array} \left| \varphi_8 C_8 ,$$

в якій найбільше просто відображений спосіб розчленовування і вид взаємозв'язку між їхніми частинами й елементами. Ця формула позначає наступний порядок перетворень. Спочатку деталь зі стану заготовлі  $C_0$  за допомогою операції  $\varphi_1$  перетвориться в стан  $C_1$ . Далі можливе виконання операцій  $\varphi_2$  або  $\varphi_3$ . Потім за допомогою операції  $\varphi_4$  деталь перетвориться в новий проміжний стан  $C_4$  і так доти, поки не буде отриманий необхідний кінцевий стан деталі  $C_8$ . Остаточний порядок виконання операцій задається тимчасовою структурою процесу. Варіант структури процесу обробки деталі, що відповідає приведеній вище формулі, описується наступним вираженням

$$S_{\Phi} = \varphi_1 (\varphi_2 \omega \varphi_3) \varphi_4 (\varphi_5 \omega \varphi_6) \tau_1 \varphi_7 \varphi_8 .$$

З формули випливає, що операції  $\varphi_1$  і  $\varphi_3$  виконуються одночасно,  $\varphi_7$  зміщена по фазі на  $\tau_1$  відносно  $(\varphi_5, \omega, \varphi_6)$ , а  $\varphi_8$  виконується одночасно з нею. У просторовій структурі розглядаються елементи системи й відносини, що визначають взаємне розташування елементів у просторі, їх розмірні й точностні зв'язки. Так, просторова структура операції характеризує компонування елементів машини в робочій зоні. Різними за структурою будуть деталі, що складаються з одних тих же елементів, наприклад, циліндрів, розташованих відносно один одного по осі, під прямим кутом, паралельно один одному. У першому випадку – це деталі класу «тіла обертання», у другому – хрестовини й косинці, у третьому – колінчаті вали.

В якості математичного апарата побудови моделей структур складних систем найчастіше користуються *теорією графів і відносин*.

#### 2.4. ОСНОВНІ ПОЛОЖЕННЯ Й ПОЗНАЧЕННЯ ТЕОРІЇ ГРАФІВ

Вирішуючи різні задачі, часто використовують схеми, графіки, діаграми, що в кожному конкретному випадку мають строго визначений зміст. Якщо абстрагуватися від змісту, то їх можна приймати як сукупність крапок, з'єднаних лініями. Теорія графів і призначена для вивчення таких формалізованих фігур. За допомогою графів можна привести

фізичний, функціональний, інформаційний і інший опис технічного об'єкта, або його технологічної схеми.

Теорія графів, як абстрактна математична наука, досліджує властивості самих графів із властивими ним закономірностями незалежно від того, якою є природа об'єктів, описаних тим або іншим графом. Виходячи з такого підходу, можна розв'язувати задачі визначення розчленованості елементів технічного об'єкта, вибору оптимальної структури технічного об'єкта, лінії, складу й режиму роботи встаткування, максимальної продуктивності, аналізу й синтезу технічних систем і так далі. Прикладами графів являються відносини батьківства, і материнства на безлічі людей (генеалогічне дерево), схема метрополітену: безліч станцій (вершини графа) і з'єднуючих їхніх ліній (ребра графа), карта доріг на місцевості, схема з'єднань електричних приладів тощо.

Наочне представлення про графа можна одержати, якщо уявити собі деяку безліч крапок площини  $X$ , названих вершинами, і безліч спрямованих відрізків  $U$ , що з'єднують усі, або деякі з вершин, і названими дугами. Математично граф  $S$  можна представити як пару безлічей  $X$  і  $U$ :  $S = (X, U)$ . На рис. 1 зображений граф, вершинами якого є крапки:  $a, b, c, d, e, g, h$ , а дугами відрізки:  $(a, a)$ ,  $(c, b)$ ,  $(c, d)$ ,  $(d, c)$ ,  $(d, d)$ ,  $(c, e)$ ,  $(e, d)$ ,  $(g, h)$ .

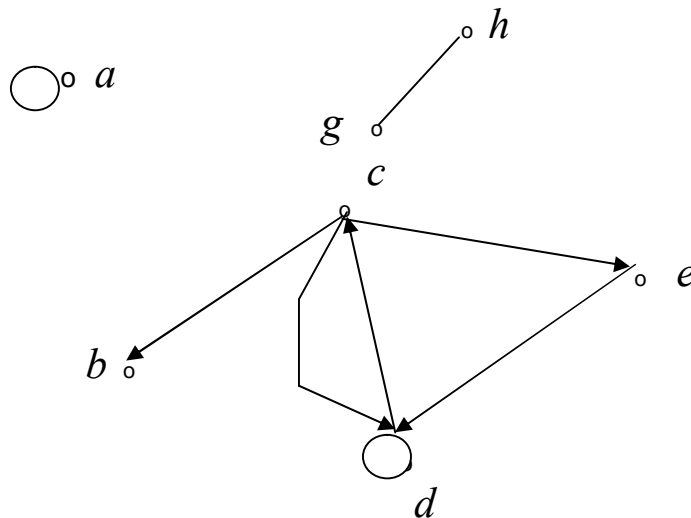


Рис. 1. Верховий граф відображення відносин на безлічі  $X$ .

Види графів. На рис. 2 показані різновиди графів. Нуль-графом називається граф, що складається з ізольованих вершин, не з'єднаних ребрами (рис. 2,а). Підграф (рис. 2,в) – це граф, що знаходиться в первісному графі (рис. 2,б). Доповнення підграфа – це граф, що складається з вершин і ребер, якими початковий граф відрізняється від підграфа (рис. 2,д). Дерево зв'язного графа – це зв'язувальний граф без циклів (рис. 2,е). Якщо ребра графа мають визначені напрямки, зазначені стрілками, то вони називаються дугами, а граф – орієнтованим (рис. 2,ж).

Суміжні ребра графа – це ребра, що мають загальну вершину, а суміжні вершини графа – це вершини, з'єднані ребром. Граф, у якому яка-

небудь пара вершин з'єднана ребром, називається повним. Той же самий граф може мати різні зображення: вершини можуть мати довільний порядок, а ребра (дуги) бути прямими або кривими лініями. Два графи (рис. 2, б, г), що мають однакове число вершин і в якій кожній парі вершин, з'єднаних ребром в одному графі, відповідає також пара вершин, з'єднаних ребром в іншому графі, називаються ізоморфними (рис. 2, г).

Матричний опис графів. Для запису характеристики й аналізу графів і відповідним їм технічних об'єктів використовують матриці суміжності, і інцидентності. Матриця суміжності – це матриця, що зберігає інформацію про структуру графа. Рядки й стовпці цієї матриці відповідають вершинам графа. Матриця інцидентності – це матриця, що зберігає інформацію про зв'язки між елементами системи. Інцидентність – це відношення між різнорідними об'єктами – вершинами й ребрами в графі.

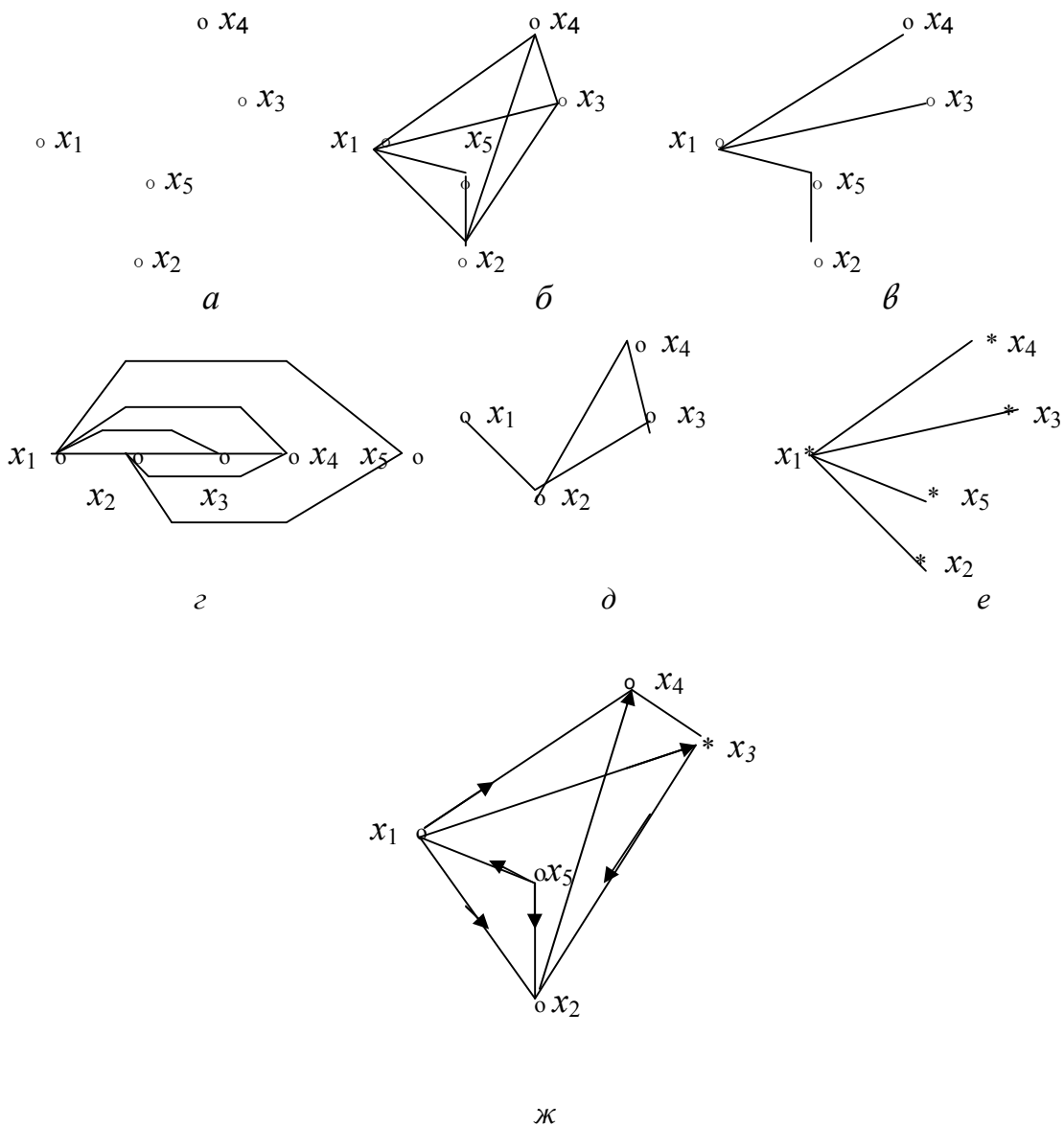


Рис. 2. Види графів: а - нульовий граф; б - первісний граф; в - підграф первісного графа; г - граф, ізоморфний первісному; д - доповнення підграфа; е - дерево первісного зв'язного графа; ж - орієнтований.

Математичну структуру Т-системи в деяких випадках зручно описувати у виді двочасткового графа  $S=(X,U)$  з вершинами двох типів. До кожної вершини першого типу приписані параметри об'єкта  $x_1, x_2, \dots, x_n$  і до кожної вершини другого типу відносини  $r_1, r_2, \dots, r_n$ , що зв'язують ці параметри. Якщо параметри  $x_i$  є аргументами відносини  $r_i$ , то вершина, що відповідає цьому параметрові, з'єднується ребром із вершиною, що відповідає  $r_i$ .

Побудова математичної моделі Т-системи у виді графа є досить корисним для аналізу можливості розчленування системи. Граф служить як би додатковим джерелом інформації. Граф структурного складу Т-системи зображується як  $S_j = (Q, R)$ . Розчленованість характеризується своєрідною ступінчастістю, що простирається в кожній структурі на різну глибину. У результаті послідовного розчленування одержимо граф структурного складу системи (рис. 3).

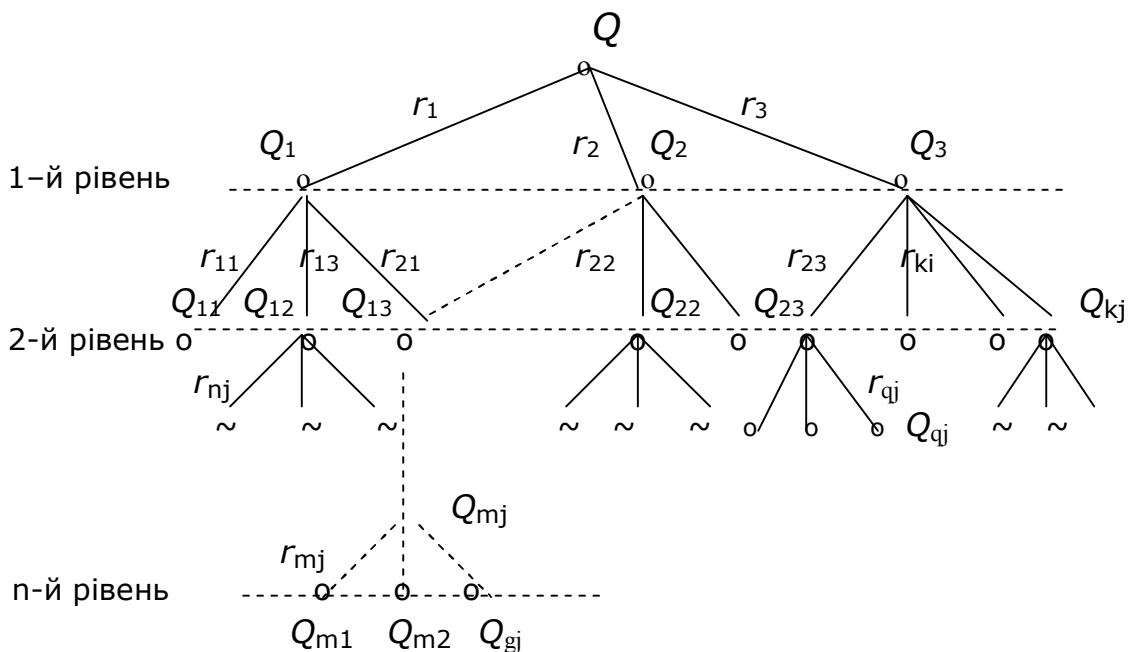


Рис. 3. Граф структурного складу Т-системи.

Вершинами останнього рівня є базові структурні елементи об'єктів, подальше розчленування яких недоцільно з погляду характеру розв'язуваних задач.

Граф тимчасової структури  $S_B(A, \Omega)$  позначає, що безліч вершин графа  $A$  відповідає операціям, прийомам, а безліч дуг  $\Omega$  - відносинам, що відбивають відповідно послідовне, одночасне або зі зрушенням фаз виконання операцій.

У графі  $S_{II}(B, U)$  просторової структури безліч вершин  $B$  відповідає елементам системи, а безліч дуг  $U$  - відносинам, що визначають взаємне розташування елементів у просторі, їхні розмірні й точні зв'язки.



Зміст і структура технологічних процесів істотно залежать від споживчих властивостей виробів, і вимог до рівня їхньої якості.

У загальному виді під якістю розуміється істотна визначеність предмета – те, у силу чого він є даним предметом, а не іншим.

Оцінюється ж якість сукупністю властивостей, що визначають придатність предмета задовольняти ті або інші потреби окремих людей, або всього суспільства. З нескінченно великого числа ознак якості можна виділити, принаймні, десять найбільш значимих:

*Корисність, естетична цінність і краса, економічна вигідність, технічна новизна, оригінальність, і патентна здатність, відповідність кращим світовим зразкам, надійність, довговічність, точність розмірів, оптимальний термін служби.*

## **2.5. ПРОЦЕС ФУНКЦІОНУВАННЯ СКЛАДНОЇ СИСТЕМИ**

Досить істотне значення має повнота й чіткість опису мети функціонування складної системи й переліку розв'язуваних нею задач. Якщо мети й задачі визначені, можна порушувати питання про оцінку якості її функціонування.

Якість функціонування системи оцінюється за допомогою показників ефективності. Під показником ефективності системи розуміють таку числову характеристику системи, що оцінює ступінь пристосованості системи до виконання поставлених перед нею задач. Показник ефективності залежить від структури системи, значень її параметрів, характеру впливу зовнішнього середовища, зовнішніх і внутрішніх випадкових факторів, тобто показник ефективності визначається процесом функціонування системи.

Із цього погляду можна представити безліч можливих процесів функціонування системи, елементи якого відрізняються один від одного за рахунок різних умов і режимів роботи системи. Через це значення показника представляють дійсні числа, то можна говорити про відображення безлічі процесів функціонування системи на безліч дійсних чисел, ув'язнених усередині деякого інтервалу. Тому показник ефективності можна вважати функціоналом від процесу функціонування системи.

Функціоналом називається оператор, заданий на деякій безлічі функцій і приймаючого значення з області дійсних чисел.

Складні системи працюють в умовах дії випадкових факторів, і значення функціоналів виявляються випадковими величинами. Тому при виборі показників ефективності, звичайно, користуються середніми значеннями відповідних функціоналів. Прикладами таких середніх функціоналів служать середня кількість виробів, що випускаються за зміну, середня собівартість продукції, середня тривалість поїздки тощо. До інших

сукупностей функціоналів, що характеризують інші властивості системи відносяться їхня надійність, якість керування, завадостійкість й інше.

Сучасні складні системи складаються із величезного числа елементів. Деякі з них у процесі функціонування можуть виходити з ладу, вимагаючи заміни або ремонту. Задача оцінки надійності системи зводиться до з'ясування впливу відмовлень елементів на якість роботи системи.

Оцінка надійності виробляється за допомогою функціоналів, названих показниками надійності системи. Для багатьох складних систем вихід деяких елементів із робочого стану не тільки не приводить до несподіваної втрати працездатності всією системою в цілому, але іноді навіть є заздалегідь «планованою» подією. До таких випадків, наприклад, відносяться поломки автомобілів у міському транспорті, пориви окремих ліній у телефонній мережі й тому подібне. Тут мова може йти не про повну втрату працездатності системи, а лише про зниження якості її роботи, тобто про зміну ефективності системи. Деякими особливостями відрізняється оцінка якості управління в складній системі. Для того, щоб зробити абсолютну оцінку якості управління для будь-якого варіанта управління, необхідно знати ідеальний варіант управління, при якому ефективність системи виявляється найбільшою.

## 2.6. ЕТАПИ РОЗРОБКИ Й СТВОРЕННЯ СКЛАДНИХ СИСТЕМ

Основними етапами створення складної системи є:

- формулювання вимог до системи й обґрунтування технічного завдання на проектування;
- розробка ескізного проекту;
- створення дослідного зразка;
- іспиту;
- виготовлення й введення в експлуатацію готового зразка системи;
- експериментальна експлуатація й доробка головних зразків;
- організація випуску, монтаж, налагодження й введення в експлуатацію серійних зразків;
- модернізація системи.

На рис.4.показано блок-схему послідовності етапів проектування Т-системи. Хоча в процесі розробки системи враховуються всі етапи, перші два з них – попереднє й ескізне проектування є найбільш відповідальними з погляду формування загального вигляду Т-системи.

На кожному етапі виникає безліч питань, відповіді на які можуть бути знайдені тільки в результаті глибокого дослідження системи й вивчення якісних і кількісних даних, отриманих при дослідженні.

На першій стадії разом із замовником визначається призначення Т-системи, ставиться основна задача проектування, формуються мети, і виявляються альтернативні рішення в самому загальному виді, обмовляються обмеження технічного й економічного порядку, установлюються умови зовнішнього середовища, у якій буде експлуатуватися Т-система, і

терміни введення її в експлуатацію. У результаті виникає основа для складання технічного завдання на розробку системи.

Крім технічного завдання, на вхід стадії проектування надходить інформація від блоку перспективних досліджень. На етапі попереднього проектування досліджується можливість створення необхідної Т-системи, і вибирається найбільш раціональна структура підсистем. Серед задач, що виникають у зв'язку з дослідженням складних систем, можна виділити два основних класи: 1) задачі аналізу, зв'язані з вивченням властивостей і поведінки системи в залежності від її структури, і значень параметрів, і 2) задачі синтезу, що зводяться до вибору структури й значень параметрів, виходячи із заданих властивостей системи.

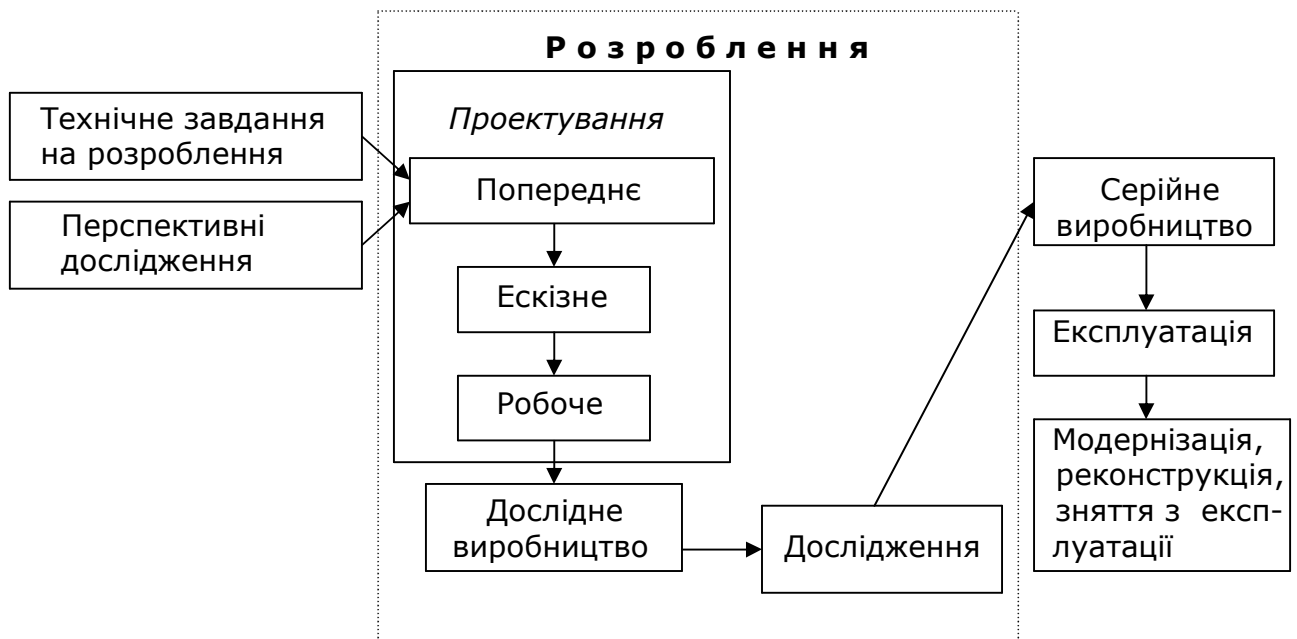


Рис. 4. Блок-схема етапів проектування технічної системи

При проектуванні складних систем, їхньої модернізації, а також при визначенні оптимальних режимів експлуатації, задачі аналізу розглядаються як оцінка можливих варіантів системи. Для кожного з обстежуваних варіантів обчислюють сукупність показників, що характеризують властивості системи (ефективність, надійність тощо). Зіставляючи ці характеристики, можна одержати перше представлення про переваги й недоліки тих або інших варіантів системи. Почавши із задач аналізу системи, ми поступово прийшли до питань, тісно пов'язаними з їхнім синтезом.

Показники, що характеризують властивості системи, можуть бути визначені одним із двох способів:

1) шляхом обробки даних натурного експерименту й 2) методом моделювання процесу функціонування системи на ЕОМ. На практиці поєднують експериментальні методи (для окремих елементів устаткування) і метод моделювання, коли мова йде про систему в цілому. Метод моделювання є досить ефективним методом оцінки варіантів структури скла-

дної системи на стадії її проектування. Аналіз результатів моделювання може розкрити слабкі сторони проекту, оцінити погодженість окремих елементів. Таке обстеження дозволить внести остаточні корективи в проект, поліпшити прийнятий варіант, а відповідні характеристики системи вибрати більш обґрунтовано. До задач оцінки варіантів структури близько примикають задачі, зв'язані з вибором тих параметрів системи, що забезпечують узгодження елементів системи між собою в процесі функціонування. Для широкого класу систем масового обслуговування істотне значення має синхронізація окремих елементарних актів процесу функціонування системи, виконуваних різними її елементами.

Метод моделювання дозволяє перевірити, чи дійсно обрані значення параметрів забезпечують досить гарну синхронізацію. Крім того, якщо якість синхронізації виявляється незадовільною, метод моделювання дає можливість виділити ті параметри, значення яких підлягають коректуванню.

Іншою задачею, близької за своїм характером до задачі синхронізації, являється узгодження різних елементів устаткування, вузлів і ліній по продуктивності. Для цього необхідно за результатами моделювання оцінити продуктивність окремих елементів, провести розрахунки для вибору відповідних параметрів, і перевірити прийнятність їх, шляхом моделювання всього процесу.

Винятково важливе значення мають дослідження складних систем у зв'язку з питаннями управління. Аналітичні методи розрахунку автоматизованого управління ще не розроблені. Наявні результати відносяться більше до розрахунку окремих елементів, чим до систем управління в комплексі.

У ході розрахунку складних систем автоматизованого управління широкое застосування знаходять різні методи фізичного й математичного моделювання. Особливо великими можливостями володіє метод статистичного моделювання.

## **2.7. ТЕОРЕТИЧНІ ОСНОВИ АНАЛІЗУ Й СИНТЕЗУ ТЕХНОЛОГІЧНИХ ЛІНІЙ**

Загалом, аналіз визначається формально як розчленовування об'єкта на елементи, синтез як з'єднання елементів у єдине ціле.

Дослідження проектованої складної системи починається, як правило, з того моменту, коли обрана її структурна схема, тобто визначений спосіб методики й реалізації технічного завдання: набір основних взаємодіючих підсистем і способів їхнього функціонування, основні параметри й обмежуючі співвідношення між ними.

Отримані при моделюванні характеристики Т-системи досліджуються на їхню відповідність заданим технічним умовам. Визначаються причини вини-

кнення тих або інших відхилень. У результаті аналізу виявляються слабкі місця й нездійсненні умови в розглянутому варіанті Т-системи.

Аналіз проводиться по всіх основних техніко-економічних показниках системи: точності обробки, продуктивності, собівартості й ін.; виявляються значення цих показників і характер їхнього взаємозв'язку і вплив один на одного. Визначається ступінь відповідності обраних методів і етапів обробки необхідної точності, продуктивності тощо.

При аналізі можна виділити три процедури: 1) порівняння отриманих при моделюванні значень показників процесу обробки із припустимими й визначення відхилень; 2) виявлення причин відхилень від необхідних параметрів; 3) установлення характеру взаємозв'язків окремих показників, і побудова моделі, що визначає взаємний вплив показників один на одного.

*Пошук причин відхилень від необхідних параметрів. і побудова моделі взаємного впливу показників один на одного називають технологічною діагностикою. Правильна постановка технологічного діагнозу діючому або спроектованому варіантові обробки є основою для вироблення напрямків по його вдосконаленню.*

На різних рівнях проектування вихідними даними в задачах синтезу служить опис функції технологічного процесу або окремих його елементів. Операція синтезу складається з декількох ланок. Першою ланкою синтезу являється розчленовування заданої складної функції на окремі підфункції, а ці останні на ще більш прості підфункції, і доти, поки не будуть отримані функції базових структурних елементів необхідного рівня деталізації. Другою ланкою синтезу є вибір структурних елементів процесу, за допомогою яких задана функція може бути реалізована. Третьою ланкою синтезу служить процедура формування просторово-тимчасових зв'язків між окремими структурними елементами, і одержання графа різних варіантів технологічного процесу.

Розчленовування загальної функції системи, як відомо, може здійснюватися різними способами. При цьому виходить різний склад структурних елементів і зв'язків між ними, тобто різні варіанти структури процесу. Для того, щоб зробити синтез цілеспрямованим й ефективним, розчленовування функції, вибір структурних елементів і встановлення зв'язків між ними необхідно робити, керуючись принципом мінімальних витрат на технологічну сумісність. Реалізація його вимагає максимальної відповідності між компонентами процесу (послідовність операцій, сумісність по встаткуванню, сумісність обраних методів обробки тощо).

## **2.8. ШЛЯХИ РОЗВИТКУ СУЧАСНОЇ ТЕХНОЛОГІЇ І ЇЇ ВПЛИВ НА СТВОРЕННЯ ТЕХНОЛОГІЧНИХ ЛІНІЙ**

Найважливішими рушійними силами розвитку сучасної технології є постійно зростаючі вимоги до якості й кількості виробів, що випускаються. Вони викликають постійну потребу в удосконалюванні технологічних процесів, створенні нових методів і засобів обробки, зборки, і контролю.

Ріст вимог до якості йде, насамперед, шляхом жорсткості вимог до точності виробів, фізико-механічним властивостям (міцність, зносостійкість, стійкість проти корозії тощо). Він збільшується інтенсифікацією роботи машин: підвищенням частоти обертання, динамічних навантажень, температури протікання робочих процесів, тиску газів, вантажопідйомності й тому подібне.

Розвиток сучасної технології йде по трьох основних напрямках:

- розвиток класичної технології, удосконалювання відпрацьованих раніше прийнятих методів і процесів, що складають основний фундамент сучасної технології;

- застосування нових, більш прогресивних методів обробки при прийнятих технологічних процесах;

- створення й розвиток принципово нових прогресивних методів обробки й технології.

Перший напрямок технології виражається в рішенні виникаючих задач шляхом створення нового, більш прогресивного встаткування, модернізації існуючого тощо.

Другий напрямок реалізується шляхом застосування прогресивних заготовель, нових методів і схем обробки на базі відомих технологічних процесів, принципово нових методів обробки, і зв'язаний із пошуком нових технологічних процесів, і методів, що дозволяють різко підвищити продуктивність у порівнянні з відомими технологічними методами. Наприклад, заготовлі, отримані шляхом прецизійного лиття, холодного штампування, поперечно-гвинтової прокатки мають високу точність розмірів, і дають можливість звести до мінімуму механічну обробку, скоротивши її тривалість, і підвищити продуктивність. Особливо перспективними в одержанні прогресивних заготовель з'являються процеси прокатки й волочіння завдяки високому ступеню безперервності й автоматизації, а також продуктивності.

Третій напрямок сучасної технології зв'язаний із розробкою нових типів виробів, що вимагають і нових технологічних процесів. Цей напрямок зв'язаний із революційними змінами не тільки в технології, але й у конструкції (*радіолампа – транзистор, пайка – друкований монтаж, ЛПА, МБЛЗ тощо*).

### **Контрольні питання**

1. Ознаки й поняття складної системи.
2. Системний підхід до вивчення й проектування технологічних ліній.
3. Характеристика технічної системи.
4. Класифікація машин технологічних ліній.
5. Розчленовування складної системи на підсистеми й елементи.
6. Функціональна, тимчасова й просторова структура.
7. Визначення графа, різновиди графів і їхній склад.
8. Граф структурного складу Т-системи і його особливості.
9. Визначення показника ефективності.
10. Функціонал як оператор функціонування системи.
11. Основні етапи створення складної системи.
12. Оцінка варіантів структури Т-системи.
13. Узгодження елементів і питання керування системою.

14. Аналіз Т-системи на основі математичного моделювання.  
 15. Основні ланки синтезу.

### РОЗДІЛ 3. МАТЕМАТИЧНЕ МОДЕЛЮВАННЯ ВИРОБНИЧИХ ПРОЦЕСІВ І ОБ'ЄКТІВ

---

#### 3.1. КЛАСИФІКАЦІЯ МОДЕЛЕЙ ТЕХНОЛОГІЧНИХ ПРОЦЕСІВ

Моделювання – один із найбільш розповсюджених способів вивчення різних процесів і явищ. Моделі підрозділяють на дві основні групи: речовинні (фізичні) і символічні (язикові). Речовинні моделі часто називають просто «моделі». До них відносяться авіамоделі, пілотні установки, полігони з макетами для іспиту машин, макети міст і т.д. У символічних моделях побудова, опис об'єкта або процесу даються на тій або іншій мові.

Прикладами символічних моделей є, наприклад, диференціальні рівняння 2-го порядку, що описують коливання маятника, креслення виробу, схема технологічної обробки, географічні карти й так далі.

Символічні моделі поділяються на моделі словесно – описові і математичні. До словесно-описових моделей відносяться технічні завдання, пояснювальні записки до проектів і звітів і т.п. Тому, що такі моделі неможливо використовувати безпосередньо для аналізу формалізованим шляхом на ЕОМ, то їх звичайно перетворюють у математичні для зручності оперування.

Математичні моделі можуть бути аналітичними або імітаційними. При використанні аналітичних моделей процеси функціонування елементів складної системи записуються у виді деяких функціональних співвідношень (алгебраїчних, інтегродиференційних) або логічних умов. При використанні імітаційних моделей в ЕОМ відтворюється поточне функціонування Т-системи в деякому масштабі часу. Цей вид моделювання дозволяє виявити закономірності динаміки функціонування, вплив кожного фактора й складних залежностей від них, можливість дослідження системи на безлічі реалізацій її функціонування, можливість застосування різних видів математичного апарата.

Імітаційні моделі можуть бути розділені на структурні і функціональні моделі. Структурні моделі використовують у випадках, коли задачі структурного синтезу вдається ставити і вирішувати не з огляду на фізичні процеси в об'єкті. Такі структурні моделі можуть мати форму матриць, графів, списків векторів і виражати розташування елементів у просторі. Функціональні моделі відображають як структуру, так і процеси функціонування об'єкта.

По способу одержання функціональні моделі поділяють на теоретичні й формальні. Теоретичні моделі одержують на основі вивчення фізич-

них закономірностей; структура рівнянь і параметри моделей мають визначене фізичне тлумачення. Формальні моделі одержують на основі моделюючого об'єкта у зовнішнім середовищі.

### 3.2. МАТЕМАТИЧНА МОДЕЛЬ

Під математичним моделюванням розуміють спосіб дослідження різних процесів шляхом вивчення явищ, що мають різний фізичний зміст, але описуються однаковими математичними співвідношеннями. Математична модель являє собою формальний опис основних закономірностей досліджуваної системи у виді математичних рівнянь і нерівностей, що дозволяє судити о поведженні досліджуваної системи в натурних умовах.

Рішення кожної задачі при математичному моделюванні підрозділяється на два самостійні етапи. На першому етапі виробляється побудова математичної моделі досліджуваної системи. Другий етап включає дослідження моделі й одержання необхідної інформації. Звичайно, цей етап зводиться до рішення математичної задачі й установленню при заданих умовах таких значень перемінних у моделі величин, які б щонайкраще задовольняли поставленої мети дослідження.

#### *Загальні принципи побудови математичних моделей.*

Моделювання об'єктів здійснюється на основі системного підходу, що дозволяє виявити властивості системи, її внутрішні й зовнішні зв'язки. Внутрішні зв'язки – це зв'язки між перемінними (елементами системи). Такі зв'язки досліджуються методами теорії ймовірності й математичної статистики. Зовнішні зв'язки - це зв'язки між системою й зовнішнім середовищем. Під зовнішнім середовищем розуміється комплекс усіх об'єктів, що впливають на зміну системи, а також об'єктів, що змінюються в результаті зміни системи. Між системою й зовнішнім середовищем маєтись тісний взаємозв'язок і взаємозалежність. Діяння, що випробує система з боку зовнішнього середовища, прийнято називати вхідними, а діяння системи на зовнішнє середовище – вихідними.

Сукупність параметрів середовища, що впливають на систему, розділяють на групи в залежності від характеру їхньої участі в процесі.

У найзагальному випадку систему характеризують наступні параметри (рис. 5): вхідні  $x_1, x_2, \dots, x_n$ ; керуючі –  $u_1, u_2 \dots u_k$ ; збурюючі –  $z_1, z_2 \dots z_q$ ; вихідні –  $y_1, y_2 \dots y_m$ . Вхідними прийнято називати перемінні параметри, що надходять у систему й піддаються визначеним перетворенням. Керуючими називаються параметри, що здійснюють перетворення незалежних перемінних у залежну перемінну виходу. Збурюючими називають параметри, значення яких визначаються режимом процесу.

Крім цього, у структуру системи може бути включений зворотний зв'язок, що дозволяє оцінити ефективність системи, тобто встановити відповідність між існуючими й необхідною величиною залежної перемінної на виході, а, отже, між існуючою й бажаною системою.



Велику роль у дослідженні математичної моделі грають обмеження, що являють собою встановлювані межі зміни значень перемінних або обмежуючих умови їхнього існування. Вони можуть уводитися, або розроблювачем (штучні обмеження), або самою системою унаслідок властивих їй особливостей (природні обмеження).

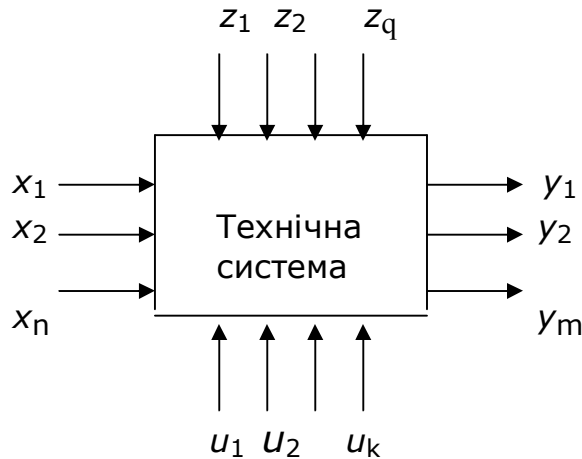


Рис. 5. Схема моделі функціонування проектованої технічної системи.

### 3.3. ЕТАПИ МАТЕМАТИЧНОГО МОДЕЛЮВАННЯ

Основними етапами математичного моделювання досліджуваної системи є: постановка (формулювання) задачі, побудова математичної моделі, дослідження системи на моделі. Головним на етапі постановки задачі є чітке визначення її формулювання мети дослідження. Тут же визначаються залежності, які підлягають вивченню за результатами моделювання, а також основні фактори, що характеризують досліджуваний об'єкт у плані поставленої мети дослідження, і підлягають облікові при побудові моделі.

Змістовний опис – це аналіз досліджуваної системи, що включає кількісну і якісну характеристику явищ, що відбуваються в неї, характер, і ступінь взаємозв'язку між ними й облік важливості кожного явища в загальному процесі функціонування системи. Опис складається на основі детального вивчення системи, і є основою формалізованої схеми, і математичної моделі.

Складання формалізованої схеми практикується, звичайно, тоді, коли безпосередній перехід від опису до розробки моделі є утрудненим або навіть неможливим. Сутність формалізації взагалі зводиться до наступного. Оскільки математична модель визначає залежність характеристик стану системи від її параметрів, необхідно вирішити питання про вибір сукупності характеристик і параметрів. Як характеристики, доцільно вибирати такі функції, що, з одного боку, забезпечували б зручність визначення шуканих величин при дослідженні системи, а, з іншого боку – давали би можливість одержати досить просту математичну модель. При

формалізації варто звертатися до типових випадків математичних схем і лише при необхідності створювати оригінальні математичні залежності.

Типові математичні схеми, що використовуються для опису процесів функціонування Т-систем, зв'язані з визначеними групами факторів, що враховуються при формалізації. До першої групи факторів відносяться імовірнісні схеми випадкових подій, випадкових величин і випадкових процесів. За допомогою випадкових величин описуються відхилення різних параметрів системи і її елементів (наприклад, розмірів, температури заготівель тощо). Наступна група факторів зв'язана з надійністю елементів складних систем. Сюди відносяться поломки, відмовлення, непередбачені виходи параметрів за припустимі межі й тому подібне.

На етапі побудови формалізованої схеми повинно бути дане точне математичне формулювання задачі дослідження із вказівкою остаточного переліку величин, що шукаються.

Подальше перетворення формалізованої схеми в математичну модель виконується математичними методами. Для цього всі співвідношення записуються в аналітичній формі, логічні умови виражаються у виді систем нерівностей, числовий матеріал використовується у формі апроксимуючих виражень, таблиці й графіки замінюються інтерполяційними поліномами тощо.

Дослідження системи, що вивчається, на моделі можна підрозділити на наступні етапи: математичний аналіз моделі, добір і оцінка вихідної інформації, чисельне рішення. Аналіз рішення й вироблення рекомендацій – заключний етап математичного моделювання.

#### **3.4. СТАТИСТИЧНЕ МОДЕЛЮВАННЯ НА ЕОМ ДИСКРЕТНИХ І БЕЗПЕРЕРВНИХ ТЕХНОЛОГІЧНИХ ЛІНІЙ**

Під статистичним моделюванням розуміють імітацію роботи на ЕОМ, тобто відтворення процесу функціонування системи на основі використання її моделі, побудованої на закономірностях, отриманих у результаті статистичної обробки експериментальних даних. Як правило, побудова статистичних моделей виконується із застосуванням методів теорії кореляції.

Дослідження таких математико-статистичних моделей як імовірнісних систем із застосуванням математичного апарата теорії кореляції включає наступні питання: 1) постановку задачі; 2) оцінку задачі й показності вихідної інформації; 3) якісну оцінку факторів, тобто обґрунтованість переліку показників-факторів, що впливають на основний показник системи; 4) обґрунтування виду функції кореляційної залежності; 5) побудова конкретної кореляційної моделі досліджуваної системи; 6) статистичний аналіз кореляційного рівняння; 7) дослідження закономірностей досліджуваної системи на моделі; 8) розробку рекомендацій для досліджуваної системи.

Надійність і показність вихідних даних не повинна викликати сумнівів. Обґрунтування виду функції кореляційної залежності, як правило, почи-

нається на стадії постановки задачі досліджуваної системи. Первісна гіпотеза про функції ґрунтується на теоретичних представленнях про фізичну сутність досліджуваної закономірності й аналіз графіків і діаграм, побудованих за даними фактичних спостережень. Після якісної оцінки факторів первісні представлення про математичний вид функції коректуються. У випадку відсутності однозначного рішення про вид функції апроксимації досліджуваної залежності здійснюється побудовою декількох підходящих функцій, найкраща з яких приймається в якості основної.

Зазначені вище недоліки можуть бути переборені використанням для статистичного аналізу методів активного планування експерименту, що дозволяють визначати необхідну кількість досвідів, одержувати кількісні і якісні оцінки факторів-аргументів необхідної точності при мінімальній кількості даних спостережень, установлювати кореляційні залежності при значно менших помилках.

Оцінюючи зв'язки між перемінними факторами системи, будують кореляційні поля для кожної пари змінних величин, проводять емпіричну й теоретичну лінію регресії. Установлюють тип розподілу досліджуваного параметра. При аналізі розподілу будують його гістограму, оцінюють її параметри, остаточно уточнюють тип розподілу. Для перевірки гіпотези про нормальність емпіричного розподілу застосовують ряд методів, заснованих на так званих критеріях згоди. Інші параметри визначаються з теорії ймовірності.

### **Контрольні питання**

1. Загальні зведення про математичні моделі.
2. Загальні принципи побудови математичних моделей. Внутрішні й зовнішні зв'язки.
3. Вхідні, управляючі, збурюючі й вихідні параметри системи.
4. Етапи математичного моделювання.
5. Змістовний опис системи.
6. Основні стадії дослідження системи на моделі.
7. Формалізація параметрів технологічних ліній і об'єктів.
8. Сутність формалізації. Основні фактори, що враховуються при формалізації.
9. Статистичне моделювання на ЕОМ дискретного і безперервного технологічних процесів і ліній.

## РОЗДІЛ 4. ОПТИМІЗАЦІЯ СТРУКТУРНИХ СХЕМ ТЕХНОЛОГІЧНИХ ЛІНІЙ І ВАРІАНТІВ СКЛАДУ ВСТАТКУВАННЯ

---

### 4.1. КРИТЕРІЇ ЕФЕКТИВНОСТІ Й ОПТИМІЗАЦІЇ

Проектування технологічних ліній представляє собою процес синтезу структурних схем і їхньої конструктивної реалізації, що містить етапи технологічної, структурної, і конструктивної розробки. На кожному етапі виникають багато варіантів побудови. Однопотокова технологічна лінія, наприклад, при тих самих методах обробки може мати більш 100 компонентальних варіантів у залежності від числа машин і ділянок, бункерів-нагромаджувачів тощо. Величезне число варіантів виникає на етапі конструктивної реалізації при виборі приводів виконавчих механізмів, типів двигунів, систем транспортування, завантаження й вивантаження, керування тощо. Число таких варіантів при проектуванні однопотокової лінії може досягати  $10^5 - 10^7$ . При проектуванні технологічної лінії нової конструкції потрібно з безлічі можливих варіантів вибрати один, краще інших відповідний поставленій меті й заданим умовам. Ознака, що дає якісну оцінку проектованій системі, називають критерієм ефективності, а процес пошуку найкращого рішення задачі – оптимізацією.

Оптимізація - процес перебування такої сукупності значень управляючих змінних величин (варійованих факторів) які, задовольняючи заданим обмеженням, забезпечують найбільш вигідне значення критерію ефективності. При цьому аналітична залежність критерію ефективності від оптимізованих параметрів, що називається цільовою функцією, дозволяє визначити максимум або мінімум функції. Вибір критерію ефективності представляє відповідальну задачу: він повинний бути представницьким і критичним до досліджуваних параметрів системи, а також найбільш простим за формою. Цьому повинний передувати ретельний техніко-економічний аналіз системи, що оптимізується, а також аналіз ефективності самих критеріїв. Відомо, що кожна знову створювана система повинна забезпечувати економію суспільної праці в порівнянні з фактичним рівнем цих витрат до впровадження проектованої системи. Для цього запропоновано багато різних методів і оцінок, серед яких можна виділити основні: мінімум капітальних вкладень, максимум продуктивності праці, мінімум собівартості, максимум рентабельності, максимум прибутку, мінімум приведених (виробничих) витрат, мінімум часу окупності капітальних витрат. Для окремих галузей промисловості, технологічних процесів і об'єктів визначальними можуть бути критерії якості, надійності й ін.

Одночасна практична реалізація декількох критеріїв неможлива. Тому розроблювач, вивчаючи технічні вимоги, пропоновані до створюваної системи, виділяє основний показник, що залежить від призначення системи й умов її роботи. Ці умови для проектованої системи є певними обмеженнями технологічного, структурного й конструктивного характеру. У цілому, основні вимоги, пропоновані до критерію оптимізації, зводяться до наступного: критерій повинний мати ясний фізичний зміст, однозначно й із достатньою повнотою характеризувати ефективність оптимізованої технологічної лінії, бути єдиним, дозволяти робити кількісну оцінку з максимальною статистичною ефективністю. Природно, оптимізуючий критерій повинний реалізовуватися в межах заданих обмежень.

У залежності від використання тих або інших математичних методів для визначення оптимальних рішень обмеження можуть спрощувати, або ускладнювати рішення задачі.

#### **4.2. МАТЕМАТИЧНА МОДЕЛЬ ОПТИМІЗАЦІЇ**

Математична модель оптимізації досліджуваної системи в залежності від її виду визначає застосування відповідного математичного методу. Загальних математичних методів знаходження екстремумів функцій будь-якого виду при наявності довільних обмежень не існує. В окремих випадках користуються спеціальними методами. Якщо обмеження відсутні, а функція описується звичайними диференціальними рівняннями, користуються класичними методами знаходження екстремуму за допомогою диференціального й варіаційного обчислювання.

При більш складних залежностях, що не описуються диференціальними рівняннями, користуються чисельними методами. Якщо цільова функція залежить від елементів рішення лінійно, а накладені на них обмеження також мають вигляд лінійних рівностей (або нерівностей), екстремум знаходять методом лінійного програмування. Якщо операція може бути розділена на ряд етапів (кроків), а критерій ефективності виражається сумою показників, досягнутих за окремі етапи, можна застосувати метод динамічного програмування.

Динамічне програмування полягає в послідовному, поетапному плануванні багатокрокового процесу, при якому на кожному етапі оптимізується тільки один крок з урахуванням можливих наслідків на наступних етапах. Таким чином, однократне рішення складної задачі замінюється багаторазовим рішенням ряду більш простих задач.

#### **4.3. МЕТОДИКА ПОШУКУ ОПТИМАЛЬНОГО ВАРІАНТА ТЕХНОЛОГІЧНОЇ ЛІНІЇ**

Розглянемо в загальних рисах методику пошуку оптимального варіанта технологічної лінії, що випускає визначений вид продукції. При оптимізації найважливішими елементами є функціональні групи (ФГ) механізмів і пристроїв, що поєднують виконавчі або транспортні механізми із приводом і керуванням.

Різні варіанти функціональних груп відрізняються структурою, функціями елементів і їхніх характеристик. Функціональні групи комплектуються в технологічну лінію по визначеному алгоритму синтезу, при цьому потрібен перегляд безлічі структур, і вибір із нього найкращого варіанта. Як критерій ефективності приймають продуктивність праці й приведені питомі витрати, а також в окремих випадках і інші параметри. Як математичний апарат пошуку оптимального варіанта лінії, скористаємося теорією графів і відносин, і побудуємо графу-дерево пошуку оптимального варіанта технологічної лінії (рис. 6.).

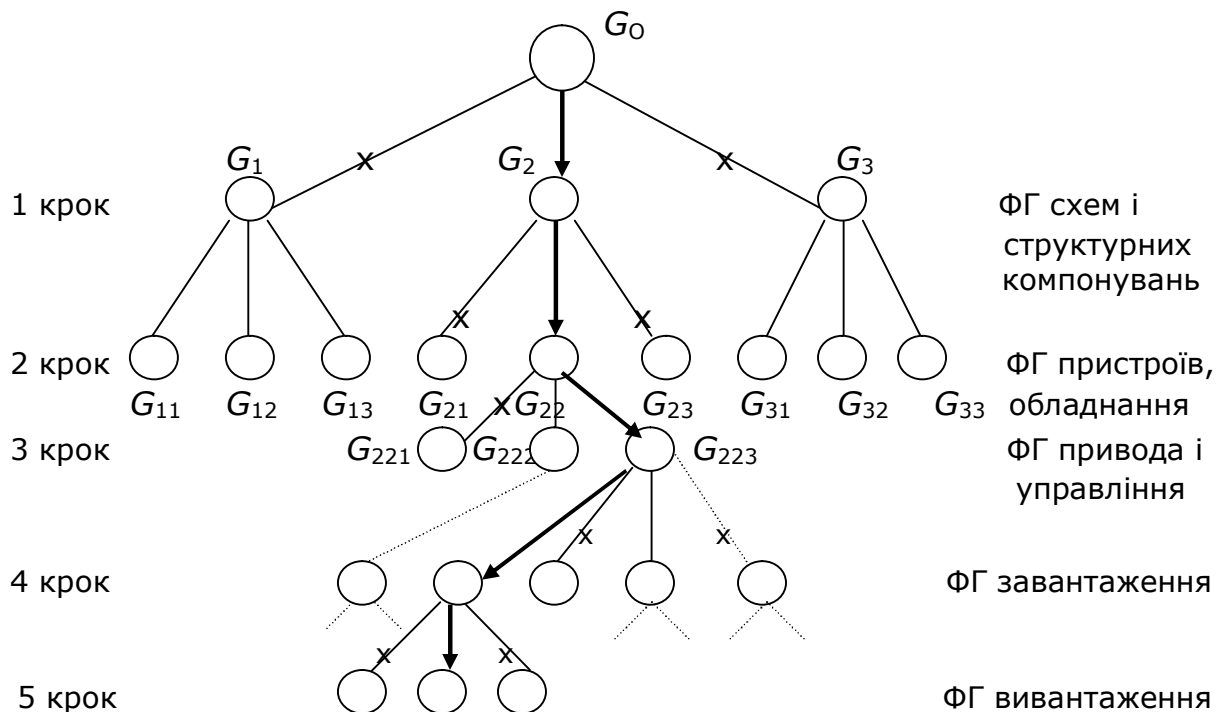


Рис. 6. Графу-дерево пошуку оптимального варіанта технологічної лінії.

Існує безліч  $G_0$ , що вміщує варіанти технологічного процесу виготовлення якого-небудь об'єкта. Допустимо, доцільно розглянути три варіанти компонування машин для обробки цього об'єкта.

Відповідно до цього підмножини  $G_1, G_2, G_3$  являють собою варіанти компонувань машин. Функціональна група кожної машини може мати три функціональні групи привода й управління. Отже, на другому кроці розглядаються дев'ять варіантів пошуку компонування машин, їхнього привода й управління. Підмножини включають варіанти компонувань  $G_{11} \dots G_{13}; G_{21} \dots G_{23}$  функціональних груп привода й керування тощо. Шляхом

обчислення точних оцінок на другому й третьому рівні оптимізації з усіх варіантів цієї підмножини вибирають один, що є оптимальним. Після одержання оцінки варіанта на третьому рівні її значення порівнюють з усіма оцінками першого й другого рівня. Якщо ця оцінка більше будь-якої, роблять подальший пошук, як це показано на рис. 6. Таким чином, використовуючи ідею спрямованого пошуку, можна при проектуванні технологічної лінії (процесу) спільно вибрати найбільш ефективні обробки й оптимальні структурно-компонувальні схеми встаткування.

Контрольні питання

1. Вибір критерію ефективності.
2. Основні вимоги до вибору критерію оптимізації.
3. Методи знаходження екстремумів функцій.
4. Сутність методів лінійного й динамічного програмування.
5. Використання математичного апарата для створення моделі оптимізації.
6. Методика пошуку оптимального варіанта технологічної лінії.

### 5.1. КЛАСИФІКАЦІЯ ТЕХНОЛОГІЧНИХ ЛІНІЙ ПО СПОСОБІ ДІЇ І КОМПОНУВАННЮ

У залежності від технологічного процесу і масштабів виробництва технологічні лінії поділяються на лінії послідовної, рівнобіжної й послідовно-рівнобіжної (комбінованої) дії (рис. 7).

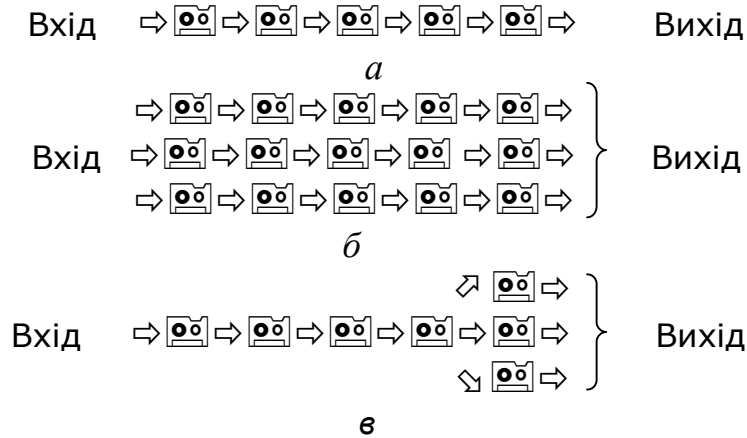
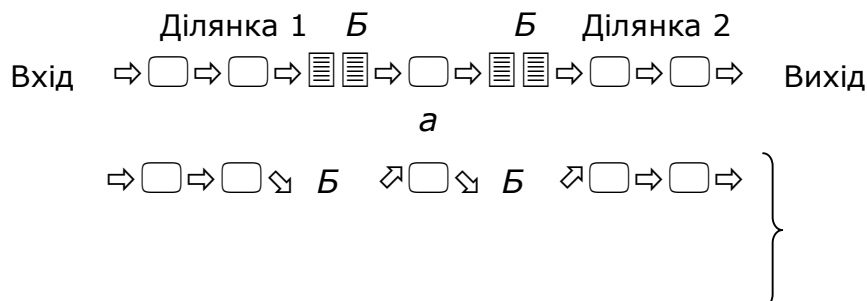


Рис. 7. Схеми технологічних ліній:  
 а – послідовної; б – паралельної;  
 в- комбінованої дії.

Однопотокова технологічна лінія послідовної дії (7, а) застосовується як основна в металургійному виробництві (безперервні прокатні стани, агрегати поперечного і подовжнього різання штаби, покриття оловом, цинком, САНД, МБЛЗ, ЛПА і т.д.), де метал (об'єкт) проходить послідовну обробку в окремих агрегатах і машинах. Технологічна лінія паралельної дії (рис.7, б) багатопотокова застосовується для виконання ряду операцій рівнобіжними потоками. Комбіновані технологічні лінії послідовно-паралельної дії (рис.7, в) застосовують для виконання різних по тривалості технологічних операцій.

При послідовному з'єднанні машин у лінію порушення роботи однієї машини викликає затримку і простої усієї технологічної лінії, якщо не передбачити спеціальних пристроїв. Збільшення числа машин у лінії вимагає розподілу їхньої на ділянки й установки бункерів-нагромаджувачів Б, що мають запас оброблюваних об'єктів (матеріалу) (рис. 8). Коли одна з ділянок лінії зупиниться внаслідок неполадок, наступна продовжить роботу, одержуючи об'єкти з бункера, а попередня – наповнюючи бункер.





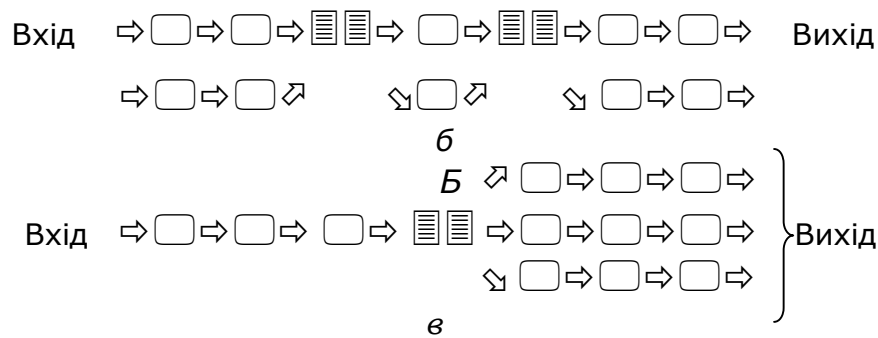


Рис. 8. Структурні компонування технологічних ліній послідовної (а), паралельної (б) і комбінованої (в) дії.

У методику побудови технологічної лінії входить комплекс питань, що стосуються способів передачі оброблюваних об'єктів між машинами, поділу ліній на ділянки, розміщення бункерів-нагромаджувачів, вибору числа операцій, числа потоків обробки, планування машин, транспортних пристроїв і т.д. При розгляді цих питань враховуються техніко-економічні показники даної лінії.

На компонування технологічної лінії впливають дві групи факторів. До факторів I групи відносяться: річна програма випуску продукції, розміри, форма і матеріал виробу, технічні умови на його виготовлення, обраний технологічний процес тощо. До факторів II групи – склад машин, що входять у технологічну лінію, синхронізація їхньої роботи або вирівнювання продуктивності, можливість застосування контрольних, транспортних, завантажувальних і інших пристроїв. (*Компонування - складання з окремих елементів єдиного цілого*).

Проектування будь-якої технологічної лінії починається з розробки технологічного процесу, тобто вибору методів і послідовності обробки з обліком вище зазначених факторів, після чого впливає розчленування технологічного процесу на елементи як завершальна стадія розробки процесу і початкова стадія вибору компонування технологічної лінії. Одним з найважливіших факторів, від якого залежить вибір компонування лінії, є її експлуатаційна надійність. Надійність системи залежить як від надійності кожного з елементів, що складають лінію, так і від схеми їхнього компонування. Чим більше елементів у системі, тим менше її надійність. Так, наприклад, при об'єднанні 10 машин, що мають коефіцієнт надійності 0,95 кожна в технологічну лінію, загальний коефіцієнт надійності складе  $0,95^{10} = 0,59$ . При часі циклу  $T_{ц} = 0,5$  хв. і годинну продуктивність кожної машини  $Q_i = (60 \cdot 0,95) / 0,5 = 114$  виробів/год продуктивність технологічної лінії складе  $Q_{тл} = (60 \cdot 0,59) = 71$  виробів/год, тобто всього 62,5 % від продуктивності кожної машини. Дослідження показали, що з ростом кількості машин продуктивність лінії росте до визначеної межі, досягає екстремального значення і потім падає. З ростом відносного коефіцієнта надійності усе менше машин можна об'єднати в технологічну лінію.

Підвищення надійності технологічної лінії і систем машин може бути досягнуто двома шляхами: 1) підвищенням довговічності і надійності всіх машин, що входять у лінію, тобто скороченням власних утрат; 2) раціональним компоюванням технологічної лінії, тобто скороченням додаткових утрат. Конструктивні методи підвищення надійності припускають розробку нових, більш досконалих конструкцій і принципів схем механізмів, більш надійних як з погляду частоти відмовлень, так і тривалості їхнього виявлення й усунення. Це відноситься не тільки до машин, але і до апаратури управління. Другий шлях найчастіше приводить до розподілу ліній на ділянки.

Питання визначення оптимального числа ділянок технологічної лінії, а також визначення величини необхідних запасів у виді бункерів-нагромаджувачів вирішуються з обліком імовірнісних закономірностей роботи ліній, тобто методом статистичного моделювання їхньої роботи на ЕОМ.

Найкращим варіантом технологічної лінії варто вважати такий, коли всі робочі машини, що здійснюють технологічний процес, жорстко зв'язані між собою єдиним транспортним пристроєм, а об'єкт послідовно проходить усі стадії обробки.

Компоювання технологічної лінії розв'язує проблему взаємного розташування і зв'язку окремих машин і системи міжмашиного транспорту; останній є важливим чинником компоювання, у залежності від якої розрізняють лінії з наскрізним транспортом без перестановки об'єктів обробки, із транспортною системою з перестановкою виробів і транспортною системою, де передбачаються заділи - нагромаджувачі (бункери). Прямоточний транспорт найбільш розповсюджений, тому що конструктивно простий, надійний у роботі і забезпечує найменший час по ремонту й обслуговуванню. Лінії з наскрізним транспортом, сплановані у виді букви Г, П або у виді прямокутника, є більш складними по конструкції.

## **5.2. ОСНОВНІ ЗВЕДЕННЯ ПРО ПРОДУКТИВНІСТЬ І НАДІЙНІСТЬ ТЕХНОЛОГІЧНИХ ЛІНІЙ**

Продуктивність визначається кількістю виготовлених виробів в одиницю часу. Розрізняють три види продуктивності: теоретичну (циклову), технологічну і фактичну, останню іноді називають проектною потужністю.

Робочим циклом називають періодично повторювану сукупність операцій по виконанні якої машина (лінія) видає готовий виріб.

Час робочого циклу (темп випуску продукції)

$$T = t_p + t_x,$$

де  $t_p$  - робочий час обробки об'єкта;  $t_x$  - час холостих ходів (завантаження, транспортування, керування виконавчими механізмами, вивантаження і т.п.).

Циклова продуктивність

$$Q_{\text{ц}} = 1/T = 1/(t_p + t_x).$$

Технологічною продуктивністю машини називають таку, коли всі холо-сті ходи сполучені з робочими

$$Q_{\text{Т}} = 1/t_p.$$

Розділивши вираження для циклової продуктивності на  $t_p$ , одержимо

$$Q_{\text{ц}} = k_{\text{п}}/Q_{\text{Т}},$$

де  $k_{\text{п}} = Q_{\text{ц}}/Q_{\text{Т}} = t_p/(t_p + t_x) \leq 1$  – коефіцієнт продуктивності, що характери-зує ступінь машинного технологічного процесу.

Унаслідок позациклових утрат часу, що складаються з невинних і випадкових простоїв лінії, її дійсна (фактична) продуктивність в умовах експлуатації завжди менше циклової.

Фактична продуктивність визначається кількістю кондиційного проду-кту, вироблюваного машиною в одиницю часу

$$Q_{\text{ф}} = k_{\text{и}}Q_{\text{ц}},$$

де  $k_{\text{и}} = Q_{\text{ф}}/Q_{\text{ц}} \leq 1$  – коефіцієнт використання устаткування.

Величина  $k_{\text{и}}$  визначається відношенням часу безперебійної ро-боти машини за якийсь період спостереження до всього часу її роботи і простоїв, тобто

$$k_{\text{и}} = \frac{T}{T + T_1 + T_2 + T_3},$$

де  $T = t_p + t_x$  – машинний час;  $T_1$  – простої з організаційних причин;  $T_2$  – простої, зв'язані з технічним обслуговуванням;  $T_3$  – простої через відмо-влення машини.

З виражень для циклової і фактичної продуктивності випливає  $Q_{\text{ф}} = k_{\text{и}}k_{\text{п}}Q_{\text{Т}}$ , тобто фактичну продуктивність можна підвищити, збільшую-чи  $Q_{\text{Т}}$  інтенсифікацією режимів роботи, застосуванням прогресивної технології; збільшуючи  $k_{\text{п}}$  зменшенням циклових втрат і збільшуючи  $k_{\text{и}}$  шляхом зменшення позациклових утрат (поліпшенням організації вироб-ництва, зниженням простоїв устаткування тощо).

Виявити резерви підвищення фактичної продуктивності дозволяє графік балансу продуктивності машини (Рис. 9).

Для побудови цього графіка на кресленні слід у масштабі відкладати те-хнологічну продуктивність  $Q_{\text{Т}}$ , циклову продуктивність  $Q_{\text{ц}}$ , і фактичну  $Q_{\text{ф}}$  з урахуванням усіх утрат. Циклові втрати продуктивності  $\Delta Q_{\text{ц}}$  викликають-

ся холостими ходами за цикл, позациклові втрати  $\Delta Q_B$  обумовлені змушеними простоями машини з організаційних причин. Визначивши різницю  $Q_{\text{ц}} - Q_{\text{ф}}$  і проаналізувавши причини, що викликають змушені простой, можна виявити резерви підвищення фактичної продуктивності машини.

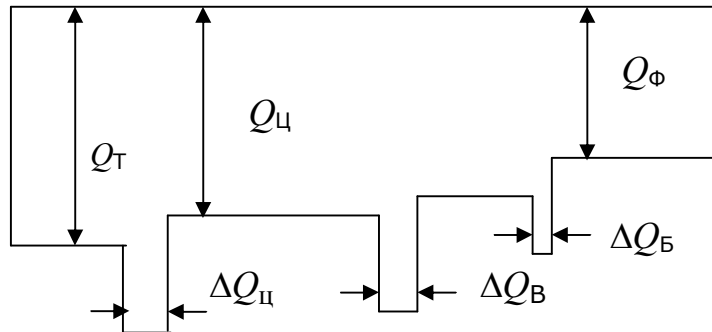


Рис. 9. Графік балансу продуктивності машини.

Розглянуті положення про продуктивність машин дійсні і для технологічних ліній. Наприклад, для однопотокової технологічної лінії послідовної дії циклова продуктивність

$$Q_{\text{ц.н.}} = \frac{1}{t_p + t_x + n\tau_n},$$

де  $n$  – позиції послідовної обробки;

$\tau_{\text{п}}$  – позациклові втрати часу лінії.

Продуктивність технологічної лінії паралельної дії

$$Q_{\text{ц.нр}} = \frac{p}{t_p + t_x + \sum \tau_n},$$

де  $p$  – число паралельних потоків.

### Основні поняття і визначення теорії надійності

Під надійністю технологічної лінії розуміється її властивість виконувати функції, зберігаючи в часі значення встановлених експлуатаційних показників у заданих межах, що відповідають заданим режимам і умовам використання, технічного обслуговування і ремонту. Надійність характеризується довговічністю, безвідмовністю і ремонтпридатністю устаткування.

Довговічність – це властивість лини довгостроково (з перервами на ремонт) зберігати свою працездатність при визначених режимах роботи і умовах експлуатації. Кількісно вона оцінюється терміном служби між ремонтами.

Безвідмовність – це властивість лінії безупинно зберігати працездатність протягом деякого часу. Кількісно вона оцінюється імовірністю безвідмовної роботи, інтенсивністю відмовлень, наробітком на відмовлення

й ін. Під наробітком на відмовлення розуміють середнє значення часу роботи між двома послідовно виниклими відмовленнями.

**Ремонтопридатність** – це пристосованість вузлів і механізмів машин лінії до попередження і виявлення причин виникнення відмовлень, ушкоджень і усуненню їхніх наслідків шляхом ремонтів і технічного обслуговування. Кількісно ремонтпридатність характеризується трудомісткістю виявлення й усунення несправностей з урахуванням кваліфікації ремонтного персоналу і рівня їхньої технічної оснащеності й оцінюється середнім часом відновлення працездатності.

Технологічні лінії, як відновлювані системи багаторазової дії, знаходяться або в експлуатації, або в планово-попереджувальному ремонті, тому розрізняють загальну й експлуатаційну надійність. Загальна надійність, що враховує весь термін служби устаткування, у тому числі і тривалість планово-попереджувальних ремонтів, завжди трохи нижче експлуатаційної надійності.

### **Контрольні питання**

1. Класифікація технологічних ліній за принципом дії.
2. Структурні компонування технологічних ліній і їхній вплив на продуктивність.
3. Вплив надійності лінії й інших факторів на її компонування.
4. Шляхи підвищення надійності технологічних ліній.
5. Взаємозв'язок компонування технологічних ліній і транспорту.
6. Теоретична, технологічна і фактична продуктивність.
7. Баланс продуктивності машини.
8. Основні поняття і визначення теорії надійності.

## **6.1. ЗАГАЛЬНІ ПИТАННЯ ПРОЕКТУВАННЯ МЕТАЛУРГІЙНИХ ЗАВОДІВ І ЦЕХІВ**

Сучасний металургійний завод являє собою складний комплекс цехів, що займають у системі заводів визначене місце і виконує конкретні задачі у випуску готових прокатних виробів. На відміну від підприємств інших галузей промисловості сучасний металургійний завод характеризується великими масштабами споживання сировинних і енергетичних ресурсів і виробництва готової продукції, високими параметрами і потужностями основних виробничих агрегатів і допоміжного устаткування, великими площами окремих цехів і всього заводу, великою чисельністю працюючих на заводі, високою кошторисною вартістю будівництва і щорічних капітальних вкладень, великими розмірами матеріальних ресурсів – будівельних конструкцій і устаткування. Тому проект металургійного заводу повинний містити повний комплекс проектних рішень, що включає техніку виробництва, його організацію, соціальні умови виробництва і його економічну ефективність

Під проектом звичайно розуміють комплекс технічної і техніко-економічної документації (креслення, схеми, розрахунки, пояснювальні записки), що містять проектні рішення по всім технічним, організаційним, соціальним і економічним питанням, необхідним для спорудження (реконструкції) і наступної експлуатації промислового об'єкта. Для розробки проекту в цілому або будь-яких часткових проектних рішень, обумовлених специфікою роботи того або іншого цеху, існує ряд загальних для будь-якого проекту вихідних положень або принципів. До них відносяться наступні принципи:

1) об'єктивності, 2) прогресивності, 3) економічності, 4) комплексності, 5) перспективності, 6) обліку територіальності, 7) довговічності, 8) безпеки, 9) нормативності, 10) типізації, 11) естетичності.

Принцип об'єктивності виражає необхідність всебічної й об'єктивної оцінки всіх розроблювальних проектних рішень, їхнього об'єктивного зіставлення і порівняння з відомими рішеннями, що повинно забезпечити обґрунтованість прийнятих рішень.

Принцип прогресивності, відповідно до якого всі проектні рішення технічного, економічного, організаційного і соціального характеру повинні відповідати останнім досягненням у відповідній області і враховувати наявні тенденції розвитку в них.

Принцип економічності враховує вибір і пророблення ряду можливих конкретних варіантів проектних рішень і виявляє такий, котрий забезпечує мінімальні витрати на одиницю продукції.

Принцип комплексності передбачає необхідність взаємного ув'язування в процесі проектування окремих проектних рішень, узгодження часткових рішень із загальним комплексом проектних рішень, які складають проект у цілому.

Принцип перспективності враховує можливість у майбутньому розширення заводу (цеху), модернізації й інтенсифікації виробництва зі збільшенням потужності проєктованого заводу (цеху). Цей принцип припускає

необхідність резервування території, комунікацій і потужності обслуговуючих відділень, ділянок і устаткування; раціонального розташування устаткування, що дозволяє легко замінити застарілі агрегати.

Принцип обліку територіальності має на увазі необхідність обліку факторів, обумовлених особливостями територіального розташування місця спорудження заводу. При цьому повинні враховуватися наявність на великій віддаленості джерел постачання, наявність у даному районі споживачів виробленої продукції, природні умови.

Принцип довговічності ставить задачу забезпечити тривалу і безвідмовну службу і роботу будівель, споруджень, агрегатів, систем і комунікацій з мінімальними витратами на ремонт, що забезпечує економічну ефективність проекту.

Принцип безпеки відбиває обов'язковість розробки заходів для забезпечення безпечних умов праці і забезпеченню захисту навколишнього середовища від шкідливих виробничих відділень.

Принцип нормативності виражає собою необхідність використання в проектуванні нормативних документів (норми проектування, стандарти, технічні умови на матеріали й інші матеріали), що забезпечує однаковість проектних рішень, підвищуючи економічність проекту.

Принцип типізації відбиває необхідність використання в проекті типових проектних рішень, використання яких забезпечує скорочення термінів проектування і будівництва, підвищення продуктивності праці і зниження вартості будівництва.

Принцип естетичності виражає необхідність створення на робочих місцях найбільш сприятливої обстановки і психофізіологічних умов праці, що повинно сприяти зниженню стомлюваності і підвищенню продуктивності праці.

## **6.2. ОСНОВНІ ЕТАПИ І ПРОЦЕДУРИ ПРОЕКТУВАННЯ**

Цілями проектування є розроблення і здійснення будівництва нового металургійного заводу (цеху, агрегату), розширення діючого, реконструкції і технічного переозброєння підприємства або його основних частин. У задачі проектування металургійного заводу входять: 1) обґрунтування доцільності його будівництва, розширення або реконструкції і технічне переозброєння; 2) розробка повного комплексу проектних рішень технічного, організаційного, соціального й економічного характеру; 3) виконання повного комплексу робочої документації для здійснення будівництва цехів, агрегатів, ліній, будівель, споруджень і комунікацій заводу.

Ці задачі вирішують послідовно, виходячи з їхнього взаємного зв'язку й обумовленості: тільки після позитивного рішення попередньої задачі приступають до розробки наступної. Кожній задачі проектування відповідає своя стадія, При розробці проектно-кошторисної документації враховують норми, порядок і послідовність проектування промислових підприємств.

Вихідними матеріалами для проектування заводу (цеху) є: результати узагальнення передового вітчизняного і закордонного досвіду проектування й експлуатації цехів; результати науково-дослідних робіт, конструкторських розробок і винаходів в області технології виробництва,

устаткування, будівельних конструкцій і матеріалів; нормативні й інструктивні акти і документи; типові проекти.

Проектування промислових об'єктів може здійснюватися або в одну стадію (робочий проект зі зведеним кошторисним розрахунком вартості), або у двох стадіях (проект зі зведеним кошторисним розрахунком вартості і робоча документація з кошторисами). Проектування в одну стадію передбачено для нескладних об'єктів і таких, котрі будуть споруджуватися по типовим чи повторно застосовуваним проектам. Проектування будівництва і реконструкція сталеплавильних, доменних і прокатних цехів, як великих і складних споруджень, звичайно здійснюють у дві стадії, розробляючи проект, а потім робочу документацію.

Проект являє собою комплекс загальних принципів рішень по всім технічним, організаційним, економічним і соціальним питанням, що забезпечують можливість будівництва або реконструкції і наступної експлуатації цеху. Звичайно проект цеху являє собою пояснювальну записку, ряд креслень і схем і кошторисну документацію, у яких відбиті результати проектних рішень, розробок і розрахунків.

Проект і пояснювальна записка складаються з ряду розділів або частин, у яких розглядаються групи відносно самостійних проектних рішень. Такими складовими частинами звичайно є: технологічна частина, яка містить проектні рішення за технологією виробництва, потужності, складу і плануванню цеху, по основним виробничим агрегатам, устаткуванню і супідрядні технологічній частині спеціальні частини і розділи: будівельна частина, організація виробництва, охорона навколишнього середовища, організація будівництва, економічна частина, технічні показники виробництва тощо; транспорт, автоматизація, промислова естетика, охорона праці і техніка безпеки.

Робоча документація, що розробляється на основі затвердженого проекту, являє собою власне робочий проект цеху. Вона містить загальне і деталізоване креслення, схеми, графіки, розрахунки, пояснювальні записки, відомості обсягів будівельних і монтажних робіт, відомості потреби в матеріалах, специфікації на устаткування, кошториси.

### **6.3. ПОРЯДОК РОЗРОБКИ І ВИКОНАННЯ ПРОЕКТУ**

Розробка проекту здійснюється шляхом так називаного послідовного

проектування, тобто проектування від загального до часткового, коли спочатку розробляються загальні положення, що закладаються в основу проекту, а потім впливає усе більш детальна розробка його окремих частин і розділів.

Початкові безпосередньої роботи над проектом передують розробка матеріалів, що обґрунтовують проектування і будівництво або реконструкцію. Розроблювальні матеріали, що обґрунтовують, повинні містити необхідні розрахунки і мають на меті обґрунтування необхідності й економічної доцільності будівництва (реконструкції), а також розроблення оптимальних рішень, що закладаються в основу передбачуваного



проекті. Необхідність будівництва нового заводу або цехів визначається в першу чергу потребою народного господарства в їхній продукції. Необхідність реконструкції, крім того, може визначатися вимогами підвищення технічного рівня й техніко-економічних показників виробництва, поліпшення якості продукції, поліпшення умов праці й розробки заходів для охорони навколишнього середовища. Економічну доцільність визначають, оцінюючи витрати на будівництво й експлуатацію об'єкта з урахуванням можливих варіантів його забезпечення сировиною, енергоресурсами і водою; забезпечення робочою силою, наявності транспортних шляхів, кліматичних умов, наявності придатної території, умови зв'язку і кооперування з іншими підприємствами даного району.

Матеріали по обґрунтуванню будівництва нового заводу звичайно містять обґрунтовані рішення по наступних питаннях: обґрунтування необхідності і доцільності будівництва; сортамент продукції і проектна потужність підприємства; забезпечення підприємства сировиною, паливом і електроенергією й оптимальні схеми постачання ними, місце будівництва; оптимальна структура і склад основних цехів; конструкція основних агрегатів і технологія; склад загальнозаводських служб і допоміжних цехів; енергетичне господарство й енергетичні баланси; генеральний план і транспортні схеми; основні будівельні рішення й організація будівництва; захист навколишнього середовища; керування виробництвом і його автоматизація; економіка будівництва й виробництва. У випадку реконструкції проробляються всі або частина цих питань а іноді інші, обумовлені специфікою поставленої задачі.

Завдання на проектування складає замовник за участю генерального проектувальника на основі матеріалів і розрахунків по обґрунтуванню будівництва (реконструкції) об'єкта. Завдання повинне містити наступні вихідні дані: підстава для проектування; найменування району або пункту будівництва; характеристику продукції, що випускається, і обсяг виробництва по окремих її видах; основні рішення за технологією й організації виробництва; вимоги по механізації й автоматизації виробництва і управління; завдання по використанню науково-технічних досягнень і по основних техніко-економічних показниках, що передбачає реалізацію найбільш прогресивних і економічних проектних рішень; вихідні положення для розробки мір по захисту навколишнього середовища; терміни і число черг будівництва і деякі інші дані.

Разом із завданням замовник передає проектній організації технічні умови на приєднання цеху до джерел постачання, інженерним мережам і комунікаціям; характеристики палива і сировини; дані по нестандартному устаткуванню; звіти по науково-дослідних роботах, що стосуються нових технологічних процесів, матеріалів і устаткування; дані про інженерно-геологічну характеристику площадки; характеристику діючого об'єкта у випадку його реконструкції й інші матеріали. Замовник видає також завдання на проектування і виготовлення нестандартного устаткування і нових засобів автоматизації, завдання на виконання експериментальних дослідно-промислових робіт з перевірки нових технологічних

процесів і матеріалів. Затверджене завдання служить підставою для початку проектування.

Розробку проекту будівництва або реконструкції заводу (цеху) веде спеціалізований інститут генерального проектування. Для організаційного і технічного керівництва проектування призначається головний інженер проекту.

Спочатку розробляють технологічну частину проекту. Звичайно про-робляють кілька варіантів технологічної частини, вибираючи найбільш оптимальний. Потім стосовно до основних проектних рішень у технологічній частині, розробляють інші розділи і частини проекту (будівельну, енергетичну й ін.). При розробці проекту виконують велике число розрахунків, при цьому широко застосовують математичні методи, ЕОМ, що використовують для пошуку інформації, рішення оптимізаційних і проектно - конструкторських задач, що скорочує час виконання і підвищує якість проектних розробок.

На підставі прийнятих проектних рішень складають кошторис проекту – зведений кошторисний розрахунок вартості будівництва (реконструкції). Складається також кошторис на проектні та розвідувальні роботи. Проект будівництва або реконструкції металургійного заводу і вхідних у нього цехів розробляється із залученням окремих досвідчених фахівців-експертів, зауваження і пропозиції яких найчастіше дозволяють істотно поліпшити окремі проектні рішення і якість проекту в цілому. Робоча документація розробляється після затвердження проекту. Документація на будівництво і монтаж окремих об'єктів виконують відповідні відділи інституту генерального проектування і цілий ряд спеціальних проектних інститутів і організацій. Проектні рішення представляються у виді робочих креслень, що містять графічне зображення конструктивних, планувальних і архітектурно - будівельних технічних рішень проекту.

Для будівництва окремих об'єктів виконують наступні види робочих документів: 1) технологічні схеми взаємного розташування устаткування основного технологічного і допоміжного, механічного, енергетичного, підйомно-транспортного, енергетичних комунікацій, електричних проводів, кабелів; 2) креслення загальних видів – плани і розрізи цехів, агрегатів, будівель, споруджень, комунікацій; 3) деталізовані креслення – плани і розрізи будівельних елементів і конструкцій; 4) монтажні схеми і креслення для здійснення робіт з монтажу конструкцій, устаткування; 5) робочі планшети генерального плану металургійного заводу.

#### **6.4. ПРОЕКТ МЕТАЛУРГІЙНОГО ЗАВОДУ**

У проекті металургійного заводу проводиться розробка повного комплексу проектних рішень, що забезпечують найбільш високий рівень техніки, його організації, умов праці й економіки виробництва. Проект кожного цеху заводу містить наступні проектні рішення:

1. Технічні проектні рішення містять розробку і визначення параметрів основних технологічних агрегатів і допоміжного устаткування, технологічного процесу виробництва – вибір вихідних матеріалів, операцій технологічного процесу, його інтенсифікації й автоматизації, якість готової продукції. Виробляється вибір конструктивних параметрів основного і допоміжного устаткування і його компонування, розробка об'ємно-планувальних і архітектурно-будівельних рішень будівель і споруджень, рішень по виробничій санітарії, розробка мір захисту від небезпечних і шкідливих виробничих факторів. Визначаються технічні показники виробництва – коефіцієнти використання агрегатів, їхня потужність, видаткові коефіцієнти сирих матеріалів, енергії, палива, води, допоміжних матеріалів, розраховуються площі й обсяги складів вихідних матеріалів, напівфабрикатів, допоміжних матеріалів і готової продукції.

2. Проектні рішення в області організації виробництва включають розробку структури виробничого процесу, складу цеху, проблем кооперування, рішень по організації виробництва – установлення режимів і графіків роботи цеху й агрегатів, розробка ремонтів устаткування, структури й діяльності служби технічного контролю, проводиться розрахунок штатів працюючих: чисельність, норми виробітку, система оплати праці, визначається фонд зарплати й інше.

3. Проектні рішення економічного характеру включають розрахунки кошторисної вартості будівництва цеху, питомих капітальних вкладень, вартості основних виробничих фондів, визначення собівартості продукції, витрат по переділу, відпускної ціни на продукцію, а також розрахунок прибутку, рівня рентабельності, строку окупності капітальних вкладень тощо.

4. Проектні рішення на створення сприятливих умов праці персоналу, охорону праці і навколишнього середовища складаються з розробки умов безпеки, нешкідливості і комфортності виробництва, забезпечення нормальної інтенсивності праці й збереження здоров'я працюючих, створення відповідних побутових умов на виробництві.

У проекті металургійного підприємства проводять, крім проектних рішень окремих цехів, розробку загальнозаводських рішень: розрахунки балансу металу, розробку схеми його руху по заводу; визначення потреби цехів у вихідних матеріалах – агломераті, чавуні, сталі і прокаті; розрахунки обсягу виробництва товарної продукції; розрахунки балансів енергетичних ресурсів (палива, електроенергії, води, пари, повітря і кисню).

Сюди ж включають рішення по організації виробництва на заводі (структура, склад цехів, спеціалізація, кооперування, матеріально-технічне постачання і збут, фінансування, капітальне будівництво, кадри, управління,); рішення соціального характеру, житло, доставка працюючих, медичне обслуговування і т.п.); проектні рішення економічного змісту (економічне обґрунтування будівництва, показники будівництва і виробництва, собівартість продукції, прибуток, рентабельність тощо); загальнозаводські проек-

тні рішення по організації будівництва (терміни, черговість, обсяги капітальних вкладень, технологія будівництва, його керування і т.п.).

### **6.5. ГЕНЕРАЛЬНИЙ ПЛАН МЕТАЛУРГІЙНОГО ЗАВОДУ**

Генеральний план – головний план взаємного розташування на обраній для будівництва металургійного заводу площадці всіх цехів, будівель, агрегатів, споруджень і комунікацій, а також усіх зовнішніх вхідних і вихідних інженерних мереж енергетики, водопостачання, транспорту і зв'язку. Метою розробки генерального плану є встановлення найбільш доцільного, оптимального розташування на площадці всіх об'єктів проєктованого підприємства з урахуванням особливостей розташування заводів і цехів. Це розташування повинне забезпечувати:

1) ефективну організацію виробництва відповідно до розробленої технології шляхом створення належних зв'язків між цехами й у кожному цеху між агрегатами;

2) економічне будівництво заводу у встановлений термін;

3) рішення наступних основних задач: створення сприятливих умов праці, охорони навколишнього середовища, санітарно-побутового забезпечення трудящих;

4) розвиток заводу, резервування території для будівництва нових і розширення діючих цехів, агрегатів, будинків, споруджень і комунікацій.

Від правильного, більш доцільного рішення названих задач залежить успішна робота металургійного заводу. Помилки, допущені при проєктуванні генерального плану, не можуть бути виправлені протягом усього періоду експлуатації заводу, тому що істотних змін, виправлень у розташуванні побудованих цехів, агрегатів, будівель, споруджень і комунікацій не представляється можливим.

При проєктуванні генеральних планів металургійного заводу враховують наступні основні принципи: компактність їхнього розташування, інженерно-геологічну характеристику площадки будівництва, застосування найбільш прогресивних видів промислового транспорту, зручні зовнішні зв'язки, створення найбільш сприятливих мікрокліматичних умов, більш доцільне розташування приміщень і споруджень культурно-побутового обслуговування трудящих, рішення питань промислової естетики, черговість будівництва заводу, можливість розширення і реконструкції заводу. Розглянемо сутність основних принципів проєктування генеральних планів металургійних заводів.

*Потоковість виробництва.* Принцип поточності виробництва визначається технологічною послідовністю основних металургійних цехів від одержання сировини і палива на одній стороні заводу до видачі готової продукції на іншій. Розташування основних цехів уздовж головної планувальної осі викликає необхідність периферійного розміщення допоміжних цехів (ремонтних, транспортних споруджень і сортувальних станцій, складів і т.д.).

*Зонування цехів.* Усередині металургійного заводу утворюють окремі зони, кожна з яких являє собою комплекс агрегатів, будинків, споруджень

і комунікацій, що входять до складу того або іншого виду виробництва або загальнозаводського господарства й зв'язаних між собою транспортом. На металургійному заводі такі зони утворюють коксохімічне виробництво, доменний цех, сталеплавильні, прокатні цехи, блок ремонтних цехів, цехи і спорудження енергетичного господарства, спорудження і будівлі залізничного транспорту й складського господарства тощо.

*Компактність розташування.* Усі цехи, агрегати, будинки, спорудження, комунікації повинні розташовуватися при максимально можливій економії території, відведеної під будівництво, мінімальних витрат на будівництво транспортних і енергетичних інженерних комунікацій й забезпеченні найкоротших технологічних зв'язків між цехами.

Ступінь компактності розташування цехів залежить від ряду факторів: наближення джерел енергопостачання до споживачів, сполучення енергетичних мереж і їх укладання, виду міжцехового транспорту, характеру транспортних магістралей, їхнього взаємного перетинання, розв'язки і т.д.

*Облік інженерно-геологічної характеристики площадки.* Дані про характер рельєфу і неоднорідності ґрунту, наявність ґрунтових вод на різних рівнях і інші фактори впливають на глибину закладення фундаментів, розташування підземних комунікацій, підвальних приміщень і т.д. Ці дані є досить важливими факторами, що впливають на економічні показники будівництва, а також роботи металургійного заводу.

*Застосування прогресивних видів транспорту.* Технологічний міжцеховий транспорт впливає на характер планувальних рішень і, у першу чергу, на компактність розташування цехів і на умови експлуатації агрегатів. Металургійне виробництво володіє низкою особливостей, що визначаються необхідністю переміщення великих кількостей сипучих матеріалів, рідких металу й шлаку, зливків і заготівель різних габаритів і мас. Тому до внутрішньозаводського й цехового транспорту пред'являють наступні основні вимоги: спеціалізація транспорту по технологічному принципу і характерові переміщуваних вантажів; відсутність перетинання шляхів рідкого металу й шлаку; дотримання мінімальних радіусів заокруглень і граничних підйомів; застосування безперервного механічного усередині й міжцехового транспорту.

*Найбільш зручні зовнішні зв'язки.* Зовнішні зв'язки вимагають створення відповідних примикань інженерних комунікацій енергетики, водопостачання, транспорту і зв'язку, що забезпечували б мінімальні витрати при їхньому зведенні, а також зручність і надійність в експлуатації. Енергетичні мережі підводять до заводу з боку джерел; для залізничного транспорту забезпечують два пункти примикання, з яких один призначається для подачі сировини, палива і матеріалів, а другий для відправлення готової продукції.

*Створення найбільш сприятливих мікрокліматичних умов.* Реалізацію цієї вимоги досягають шляхом найбільш доцільного взаємного розташування цехів, що виділяють пил і газу, виходячи з характеру троян-

ди вітрів на площадці заводу. При цьому шкідливі виділення не повинні досягати цехів, у яких зосереджене найбільша кількість працюючих і які вимагають особливо чистої атмосфери. Так, прокатні цехи, особливо холодної прокатки, розташовують з підповітряної сторони стосовно коксохімічного, аглодоменного і сталеплавильного виробництв. Одним з важливих факторів є створення санітарно-захисних зон, що представляють собою масиви зелених насаджень визначених розмірів, розташованих на території заводу між цехами, а також біля заводу.

*Розміщення приміщень і споруджень побутового обслуговування.* Найбільш раціональне розміщення забезпечується шляхом максимального наближення до робочих місць усіх цих приміщень і зниження до мінімуму часу, що затрачується на одержання послуг. Тому всі приміщення й спорудження побутового обслуговування розташовуються в цехах, на територіях, прилеглих до цехів і в адміністративному центрі заводу.

*Рішення питань виробничої естетики.* Сюди входять питання найбільш доцільного розташування цехів, будівель, агрегатів, споруджень і комунікацій, розташування кварталів і вулиць заводу, оформлення й фарбування будинків, споруджень і комунікацій, озеленення території, оформлення засобів інформації й наочної агітації.

*Черговість будівництва.* Принцип черговості будівництва виражає необхідність послідовного здійснення будівництва блоків від центра заводу до його периферії, а усередині блоку, цеху його агрегатів також від центра до периферії. При цьому вирішуються задачі найбільш компактного розміщення блоків і об'єктів з урахуванням мінімальної довжини інженерних мереж між ними, а також створення сприятливих умов для будівництва наступного блоку й можливості одночасної експлуатації побудованого блоку.

*Можливість розширення й реконструкції.* У проекті генерального плану повинні бути передбачені відповідні резервні території на периферії за межами заводу для будівництва нових цехів і споруджень і на території заводу для розширення існуючих цехів, а також реконструкції діючих агрегатів.

Генеральний план металургійного заводу, як складна структура, повинний реалізовуватися з використанням системного підходу, що є основою теорії систем, найбільш ефективною для проектування складних технічних об'єктів. При проектуванні генерального плану металургійного заводу широко застосовують методи наукових досліджень, до яких відносяться методи прогнозування, експериментування, оптимізації, порівняння і моделювання.

## **6.6. ЗАГАЛЬНІ ПИТАННЯ ОХОРОНИ ПРАЦІ І НАВКОЛИШНЬОГО СЕРЕДОВИЩА ПРИ ПРОЕКТУВАННІ ТЕХНОЛОГІЧНИХ ЛІНІЙ І КОМПЛЕКСІВ**

При проектуванні технологічних ліній і комплексів металургійних цехів висвітлюються питання:

- рівень автоматизації і механізації проєктованих ліній і об'єктів і їхній вплив на умови праці, ступінь досконалості обраного технологічного процесу, режимів роботи агрегатів і машин з погляду впливу їх на умови праці;

- категорія пожежної безпеки;
- конструкція будівлі з погляду аерації і природного висвітлення і протипожежної безпеки;
- засоби і заходи для обмеження поширення пожеж;
- захист від блискавок;
- висвітлення – природне і штучне;
- захист від шкідливих речовин і теплових впливів;
- захист від впливу електричного струму й електромагнітних полів;
- запобігання вибухів;
- захист від іонізуючих полів, впливу шуму, вібрацій і ультразвуку;
- безпека машин і механізмів;
- очищення газів, що відходять, і стічних вод, утилізація відходів виробництва.
- рішення по промисловій естетиці.

### **Контрольні питання**

1. Принципи проєктування промислових підприємств і об'єктів.
2. Методи і задачі проєктування. Вихідні матеріали проєктування.
3. Обґрунтування проєктування і будівництва.
4. Завдання на проєктування. Розробка проєкту.
5. Робоча документація.
6. Задачі проєктування металургійного заводу.
7. Технічні проєктні рішення.
8. Проєктні рішення в області організації виробництва.
9. Проєктні рішення економічного характеру.
10. Проєктні рішення на створення сприятливих умов праці.
11. Загальнозаводські проєктні рішення.
12. Особливості планування і розташування металургійних заводів і цехів.
13. Поняття про генеральний план металургійного заводу.
14. Основні принципи проєктування генеральних планів металургійних заводів.
15. Загальні питання охорони праці і навколишнього середовища при проєктуванні технологічних ліній і комплексів металургійних цехів.

### **СПИСОК ЛІТЕРАТУРИ, ЩО РЕКОМЕНДУЄТЬСЯ**

---

1. Бусленко Н.П., Калашников В.В., Коваленко И.Н. Лекции по теории сложных систем. – М.: Сов.Радио, 1973. – 440 с.
2. Воскобойников В.Г., Кудрин В.А., Якушев А.М. Общая металлургия. – М.: Металлургия, 1985. – 480 с.
3. Гребеник В.М., Гордиенко А.В., Цапко В.К. Повышение надежности металлургического оборудования: Справочник. – М.: Металлургия, 1988. – 668 с.
4. Гребеник В.М., Иванченко Ф.К., Ширяев В.И. Расчет металлургических машин и механизмов. К.: Вища шк., 1988, – 448 с.
5. Гребеник В.М., Сапко А.И., Демьянец Л.А. и др. Механическое оборудование электросталеплавильных цехов. К.: Вища шк., 1980. – 256 с.
6. Гребеник В.М., Сторожик Д.А., Демьянец Л.А. и др. Механическое оборудование фабрик окускования и доменных цехов. – К.: Вища шк., 1985. – 312 с.
7. Гребеник В.М., Иванченко Ф.К., Павленко Б.А. и др. Механическое оборудование конвертерных и мартеновских цехов. – К.: Вища шк., 1990. – 288 с.
8. Дабагян А.В. Проектирование технических систем. – М.: Машиностроение, 1986. 256 с.
9. Денисов А.А., Колесников Д.Н. Теория больших систем управления. – Л.: Энергоиздат, 1982. – 288 с.
10. Кац Г.В., Ковалев А.П. Технично-економический анализ и оптимизация конструкций машин М.: Машиностроение, 1981. 214 с.
11. Зыков А.А. Основы теории графов. – М.: Наука, 1987. – 384 с.
12. Королев А.А. Механическое оборудование прокатных и трубных цехов. М.: Металлургия, 1987. – 480 с.
13. Кузнецов Ю.Н., Козубов В.И., Волощенко А.Б. Математическое программирование. – М.: Высш. шк., 1980. – 300 с.
14. Ловчиновский Э.В. Механическое оборудование фабрик для окускования железорудного сырья. – М.: Металлургия, 1977. – 256 с.
15. Нечипоренко В.И. Структурный анализ систем – М.: Сов. Радио, 1977. – 216 с.
16. Скурихин В.И., Шифрин В.Б., Дубровский В.В. Математическое моделирование. К.: Техника, 1983. – 270 с.
17. Федосов Н.М., Бринза В.Н., Астахов И.Г. Проектирование прокатных цехов. – М.: Металлургия, 1983. – 303 с.
18. Хубка В. Теория технических систем. – М.: Мир, 1987. – 208 с.
19. Цвиркун А.Д. Структура сложных систем. – М.: - Сов. Радио, 1975. – 200 с.
20. Ширяев П.А. Основы технико-економического проектирования металлургических заводов. – М.: Металлургия, 1980. – 376 с.
21. Якушев А.М. Проектирование сталеплавильных и доменных цехов. – М.: Металлургия, 1984. – 216 с.
22. Усачов В.П. Технологічні лінії та комплекси металургійних цехів; Підручник для вузів. – К.: ІСДО, 1994. – 664 с.



**ЗМІСТ**

<i>Передмова</i> . . . . .	3
<b>Розділ 1. Теоретичні основи дослідження і проектування технологічних ліній і агрегатів</b> . . . . .	5
1.1. Металургійне виробництво як складна система дискретних і безперервних технологічних ліній . . . . .	5
1.2. Техніко-економічна доцільність застосування нових технологічних ліній і комплексів у металургії . . . . .	6
<i>Контрольні питання</i> . . . . .	9
<b>Розділ 2. Системний підхід до проектування технічних об'єктів</b> . . . . .	10
2.1. Системний підхід до вивчення й аналізу технологічних ліній . . . . .	10
2.2. Класифікація технологічних ліній . . . . .	12
2.3. Структура технологічних ліній . . . . .	13
2.4. Основні положення і позначення теорії графів . . . . .	14
2.5. Процес функціонування складної системи . . . . .	18
2.6. Етапи розробки і створення складних систем . . . . .	19
2.7. Теоретичні основи аналізу і синтезу технологічних ліній . . . . .	21
2.8. Шляхи розвитку сучасної технології і її вплив на створення технологічних ліній . . . . .	22
<i>Контрольні питання</i> . . . . .	23
<b>Розділ 3. Математичне моделювання виробничих процесів і об'єктів</b> . . . . .	24
3.1. Класифікація моделей технологічних процесів . . . . .	24
3.2. Математична модель . . . . .	25
3.3. Етапи математичного моделювання . . . . .	26
3.4. Статистичне моделювання на ЕОМ дискретних і безперервних технологічних ліній . . . . .	27
<i>Контрольні питання</i> . . . . .	28
<b>Розділ 4. Оптимізація структурних схем технологічних ліній і варіантів складу устаткування</b> . . . . .	29
4.1. Критерій ефективності оптимізації . . . . .	29
4.2. Математична модель оптимізації . . . . .	30
4.3. Методика пошуку оптимального варіанта технологічної лінії . . . . .	30

<i>Контрольні питання</i> .....	32
<b>Розділ 5. Компонування, продуктивність і режими роботи технологічних ліній</b> .....	33
5.1. Класифікація технологічних ліній по способу дії і компонуванню .....	33
5.2. Основні зведення про продуктивність і надійність технологічних ліній .....	35
<i>Контрольні питання</i> .....	38
<b>Розділ 6. Основи проектування технологічних ліній, машин і агрегатів</b> .....	39
6.1. Загальні питання проектування металургійних заводів і цехів .....	39
6.2. Основні етапи і процедури проектування .....	40
6.3. Порядок розробки і виконання проекту .....	41
6.4. Проект металургійного заводу .....	44
6.5. Генеральний план металургійного заводу .....	45
6.6. Загальні питання охорони праці і навколишнього середовища при проектуванні технологічних ліній .....	48
<i>Контрольні питання</i> .....	48
<i>Список літератури, що рекомендується</i> .....	49