

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ  
МИКОЛАЇВСЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ АГРАРНИЙ УНІВЕРСИТЕТ  
Інженерно-енергетичний факультет  
Кафедра Агроінженерії

## **Аналіз технологічних систем**

Методичні рекомендації

для підготовки з лекційних занять для здобувачів другого (магістерського) рівня вищої освіти денної форми навчання ОПП "Професійна освіта (Аграрне виробництво, переробка сільськогосподарської продукції та харчові технології)", спеціальності 015 «Професійна освіта»

Миколаїв

2024

УДК 631.3.002.2:65.012.123

А64

Рекомендовано до друку науково-методичної комісії Інженерно-енергетичного факультету Миколаївського національного аграрного університету від 27.05.24, протокол № 9.

Укладачі:

Сидорика Ігор – к.т.н., доцент кафедри Агроінженерії, Миколаївського національного аграрного університету;

Рецензенти:

Грубань Василь. – канд. тех. наук, доцент, завідувач кафедри тракторів та сільськогосподарських машин, експлуатації та технічного сервісу, Миколаївський національний аграрний університет.

Ставинський Андрій – д-р техн. наук, професор, завідувач кафедрою електроенергетики, електротехніки та електромеханіки, Миколаївський національний аграрний університет.

© Миколаївський національний  
аграрний університет, 2024

## ЗМІСТ

Вступ.....	4
1. Загальні вказівки до курсу “Аналіз технологічних систем”.....	5
2. Структурно-логічна схема занять “Аналіз технологічних систем”.....	6
3. Теоретичний курс “Аналіз технологічних систем”	
Лекція № 1. Основи формування системи інженерної діяльності.....	8
Лекція №2. Обґрунтування цілей і критеріїв, встановлення пріоритетів....	17
Лекція №3. Аналіз виробничих ситуацій і систем.....	30
Лекція №4. Аналіз причинно-наслідкових зв’язків .....	38
Лекція №5. Аналіз функціональної організації технологічних систем.....	46
Лекція №6. Функціонально-вартісний аналіз систем.....	52
Лекція №7. Техніко-економічний аналіз аграрних технологічних систем....	61
Лекція №8. Детерміновані моделі прийняття інженерних рішень.....	71
Лекція №9. Застосування теорії масового обслуговування у прийнятті інженерних рішень.....	79
Література.....	91

## **ВСТУП**

Дисципліна «Аналіз технологічних систем» всебічно розкриває програмний матеріал з питань цілевстановлення в аграрній інженерії, вибору цілей і критеріїв, системного аналізу виробничих ситуацій, техніко-економічного аналізу, функціонально-ресурсного проектування, аналізу енергетичної та економічної та економіко-екологічної ефективності, екологічності та напрямків розвитку аграрних технологічних систем, моделей прийняття рішень та їх обґрунтування. Матеріал базується на основних принципах системного аналізу та прийняття рішень стосовно задач аграрної інженерії.

*Ключові слова:* інженерна діяльність, системний процес, технологічні системи, сільськогосподарське машинобудування, професійні цінності.

### **Annotation**

Discipline "Analysis of technological systems" comprehensively discloses program material on goal setting in agricultural engineering, selection of goals and criteria, system analysis of production situations, technical and economic analysis, functional and resource design, analysis of energy and economic and environmental efficiency, environmental friendliness and areas development of agricultural technological systems, decision-making models and their justification. The material is based on the basic principles of systems analysis and decision-making regarding the problems of agricultural engineering.

*Key words:* engineering activity, system-process, technological systems, agricultural engineering, professional values.

# 1 ЗАГАЛЬНІ ВКАЗІВКИ ДО КУРСУ

## “Аналіз технологічних систем”

*Мета дисципліни:* відпрацювання навичок формування постановки виробничих цілей, вирішення аналітичних задач розрахунків параметрів технічних та технологічних систем, задач їх проектування, визначення оптимальних параметрів систем, що забезпечують найбільш ефективно їх використання на основі поєднання гуманітарної, фундаментальної та загально-технічної підготовки з решти дисциплін.

*Завдання дисципліни:* опанування здобувачами вищої освіти сучасних методів системного аналізу, отримання навичок у дослідженні операцій, функціонально-вартісному проектуванні з урахуванням специфіки сільськогосподарського виробництва.

У результаті вивчення дисципліни студент повинен **знати:**

- як розв'язувати складні інженерно-педагогічні задачі і проблеми у сфері професійної діяльності з професійної освіти та агроінженерії, а також у процесі досліджень та/або здійснення інновацій, що характеризується невизначеністю умов і вимог агропромислового виробництва;

- та усвідомлювати взаємозалежність стану зовнішнього середовища і технологічної діяльності, враховувати її під час організації особистої та суспільної діяльності.

Студент повинен **вміти:**

- організовувати самостійну роботу учнів (здобувачів) та виробничу діяльність робітників у сфері агроінженерії, здійснювати їх поточний інструктаж;

- володіти основами педагогічної та професійної майстерності;

- використовувати та удосконалювати педагогічні та виробничі (в сфері агроінженерії) технології у професійній діяльності;

- планувати та здійснювати прикладні педагогічні та інженерні (в сфері агроінженерії) дослідження;

- розрізняти, узагальнювати й систематизувати передовий педагогічний та виробничий досвід (в сфері агроінженерії);

- використовувати методологічний апарат та принципи логістики;
- візуалізувати навчальну і виробничу інформацію та розробляти й виготовляти навчально-методичну, конструкторську, проектну документацію;
- володіти навиками конструювання і моделювання процесу навчання та технологій виробництва і переробки продуктів сільського господарства, планування діяльності їх учасників;
- володіти методиками розрахунку ефективного використання матеріальних цінностей і сировини в навчально-виховному та виробничому (в сфері агроінженерії) процесах;
- визначати умови і напрями оптимізації навчально-виховного процесу та технологій переробки продуктів сільського господарства;
- визначати економічну ефективність освітньої та виробничої (в сфері агроінженерії) діяльності;
- складати нормативні калькуляції продукції, розробляти графіки організації робіт та поточні плани для навчання й виробництва та переробки продуктів сільського господарства;
- здійснювати моніторинг авторської педагогічної системи навчання учнів (здобувачів) та професійної діяльності робітників підприємств з виробництва та переробки сільськогосподарської продукції;
- застосовувати нестандартні форми та методи контролю навчання та виробничої (в сфері агроінженерії) діяльності.

## **2. Структурно-логічна схема занять “Аналіз технологічних систем”**

2.1 Заняття з дисципліни проводяться з метою закріплення, розширення та поглиблення теоретичних знань та навичок, які одержав студент на лекціях та лабораторних заняттях, набуття вміння самостійно аналізувати, виявляти причинно-наслідкові зв'язки виробничих ситуацій та приймати рішення в умовах невизначеності, ризику і багатокритеріальності. Розподіл освітнього часу за видами занять та контрольні заходи наведено в таблиці 1.

Таблиця 1.

Змістовні модулі курсу			Теми	Розподіл навчального часу			Термін виконання, тиждень	Терміни контрольного заходу
Найменування	Обсяг, кредити	Сума балів		лекції	практичні	самостійна робота		
Змістовий модуль 1. Основи формування системи інженерної діяльності	0,3	3-6	Тема 1. Основи формування системи інженерної діяльності	2	2	6	1 тиждень	
Змістовий модуль 2. Аналіз виробничих ситуацій і систем	0,4	4-7	Тема 2 Аналіз виробничих ситуацій і систем.	3,0	3,0	6,0	2-3 тиждень	
	0,4	4-7	Тема 3. Аналіз причинно-наслідкових зв'язків.	3,0	3,0	6,0	3-4 тиждень	
Змістовий модуль 3. Детерміновані моделі прийняття інженерних рішень	0,3	5-8	Тема 4. Детерміновані моделі прийняття інженерних рішень	2	2	4	5 тиждень	
Змістовий модуль 4. Прийняття рішень в умовах невизначеності, ризику і багатокритеріальності	0,4	5-8	Тема 5. Прийняття рішень в умовах невизначеності, ризику і багатокритеріальності	3,0	3,0	6,0	6-7 тиждень	Проміжний контр. по заверш.м модуля
	0,4	5-8	Тема 6. Застосування теорії масового обслуговування у прийнятті інженерних рішень	3,0	3,0	6,0	7-8 тиждень	
Змістовий модуль 5. Приклади типових задач аграрної інженерії	0,4	5-8	Тема 7. Формування набору фахових задач	3,0	3,0	6,0	8-9 тиждень	
	0,4	5-8	Тема 8. Аналіз втрат ресурсів, продукції та часу	3,0	3,0	6,0	10-11 тиждень	
<b>Всього за семестр</b>	<b>3,0</b>	<b>36-60</b>	<b>Всього годин по навчальній дисципліні</b>	<b>22</b>	<b>22</b>	<b>46</b>	<b>x</b>	<b>x</b>

На заняттях розглядається найбільш складний матеріал курсу. Студенти мають можливість одержати необхідний довідковий матеріал, допомогу в рішенні індивідуальних завдань та захистити контрольні завдання.

### 3. Теоретичний курс “Аналіз технологічних систем”

#### ЛЕКЦІЯ №1

##### ОСНОВИ ФОРМУВАННЯ СИСТЕМИ ІНЖЕНЕРНОЇ ДІЯЛЬНОСТІ

Питання:

- Інженерна діяльність як система-процес.
- Технологічні системи як узагальнені об’єкти аграрної інженерії.
- Система професійних цінностей в аграрній інженерії

##### ІНЖЕНЕРНА ДІЯЛЬНІСТЬ ЯК СИСТЕМА-ПРОЦЕС

Діяльність у широкому розумінні є процесом взаємодії людини з навколишнім середовищем, завдяки якому вона досягає мети, що виникла внаслідок появи потреби. Сучасна методологія діяльності фахівця спирається на системний підхід, при якому будь-який об’єкт, процес або явище розглядається як система.

*Система* — це така єдність елементів, зв’язків і відношень, яка дозволяє виділити її з середовища як окрему цілісність.

Множина первинних елементів включає такі складові, які на даному рівні опису системи не потребують членування, а їх внутрішня структура є несуттєвою. Тобто зміст елемента залежить від рівня опису системи. Для системи-об’єкта елементами будуть складові, що теж мають предметне втілення. Для системи-процесу елементами можуть бути дії, функції, операції, тощо.

Зв’язки характеризуються масо-, енерго-, інформаційними обмінами (*M*-, *E*-, *I* — обміни) між структурно-функціональними компонентами (внутрішні) або між системою та середовищем (зовнішні). Зв’язок можна порівняти з фізичним каналом, по якому здійснюються відповідні обміни.

За своїм змістом зв’язки можуть бути визначені як комбінації окремих обмінів, число яких становить

$$C_r^n = \sum_{r=1}^3 C_r^3 = 7, \quad n=1,2,3; \quad r=1,2,3,$$

де — число поєднань із  $n$  елементів по  $r$ . В нашому випадку таких поєднань буде сім: *M*, *E*, *I*, *ME*, *MI*, *EI*, *MEI*.

Відношення характеризують взаємні стосунки між структурно- функціональними компонентами і взаємообумовленість властивостей системи. Так, відношення приналежності, порядку, ієрархії зумовлюють структуру системи; відношення відповідності, подібності, причинності — її якісні характеристики.

Зв’язок передбачає неодмінну наявність відношення, тоді як відношення може існувати і без зв’язку (наприклад, відношення подібності чи відмінності, еквівалентності, тощо).



Згідно з системним підходом *інженерна діяльність є системою-процесом*, в якій первинними є дії або функції, що спрямовані на досягнення виробничих цілей. Такими функціями є аналіз і оцінка виробничої ситуації, проектування і ефективне використання технологічних і технічних систем. Використання ТС і ТхС включає планування і організацію робіт, управління виробничими процесами.

Отже, фахову діяльність інженерів можна описати кортежем

$$D = \cup F_i = \langle A, B, П, P, X, U, Y \rangle, \quad (1.1)$$

де  $D$  — система фахової діяльності інженерів;

$F_i$  — об'єднання фахових функцій, які забезпечують досягнення виробничих цілей;

$A$  — множина цілей діяльності;

$B$  — вимоги, норми і обмеження, що регламентують діяльність (технологічні, екологічні, моральні, адміністративні);

$П$  — предмети діяльності (операнди), на зміну властивостей яких спрямовані дії;

$P$  — активні засоби досягнення цілей, що включають ресурси (трудові, технічні, матеріальні, інформаційні, фінансові, часові), а також способи дій (технології, ноу-хау);

$X$  — зовнішні умови процесів діяльності;

$U$  — множина стратегій діяльності або способів використання активних засобів для досягнення цілей;

$Y$  — результати діяльності.

Важливо розуміти, що окремий об'єкт у різних виробничих ситуаціях може бути або операндом або засобом діяльності. Так, при проведенні технічного обслуговування або ремонту, наприклад, комбайна він виступає як предмет праці (операнд). Коли ж комбайн використовується для збирання врожаю, то він є активним засобом праці, а операндом у цьому випадку буде сільськогосподарська культура, що збирається. Аналогічно, при розробленні технологічного регламенту інформація є операндом, а при його застосуванні в технологічній системі — активним засобом. У загальному випадку технічні і технологічні системи можуть бути і предметом і засобом праці фахівців інженерної служби.

Основними властивостями фахової системи діяльності є цілеспрямованість, динамічність, ергатичність і гомоцентричність.

Заданість цілей є неодмінною умовою діяльності. Цілі можуть бути задані системою вищого рівня ієрархії або безпосередньо фахівцем як особою, що приймає рішення (ОПР).

Будемо розрізняти стратегічні, тактичні і нормативні цілі.

*Стратегічні цілі* спрямовані на вирішення довгострокових масштабних виробничих завдань і обґрунтування перспектив розвитку виробництва.

*Тактичні цілі* спрямовані на отримання локальних (часткових) результатів і підпорядковані досягненню загальної мети.

*Нормативні цілі* стосуються забезпечення регламентованих функціональних показників і вимог.

В інженерній діяльності присутні різні рівні цілей, а їх співвідношення залежить від посадових обов'язків.

Діяльність як процес протікає у часі, протягом якого можуть змінюватися цілі, умови, а також засоби фахової діяльності. Це зумовлює динамічність системи діяльності.

*Ергатичні системи* — це системи яким властива поведінка. Оскільки фахова діяльність притаманна людині або об'єднанню людей, то вона має властивості самоорганізації і саморозвитку, вибору ефективної поведінки при зміні ситуації.

Ефективність фахової діяльності залежить від рівня компетенції та індивідуальних якостей фахівця (творчого потенціалу, вольових якостей, відповідальності, тощо). Тобто у центрі системи фахової діяльності є людина, що і зумовлює гомоцентричність такої системи. Звідси випливає висновок про важливе значення формування фахівця як особи, що здатна приймати рішення і нести відповідальність за їх результати.

Отже, інженерна діяльність — це гомоцентрична, ергатична система-процес, яка включає функції, методи і засоби досягнення людиною чи колективом виробничих цілей щодо перетворення предметів праці аграрного виробництва та його інфраструктури.

## ТЕХНОЛОГІЧНІ СИСТЕМИ ЯК УЗАГАЛЬНЕНІ ОБ'ЄКТИ АГРАРНОЇ ІНЖЕНЕРІЇ

За визначеннями, що наведені у вступі, об'єктами інженерної діяльності є технологічні та технічні системи.

Технологічні системи (ТхС) відносяться до класу систем-процесів зі складовими, що забезпечують ці процеси (рис. 1.1).

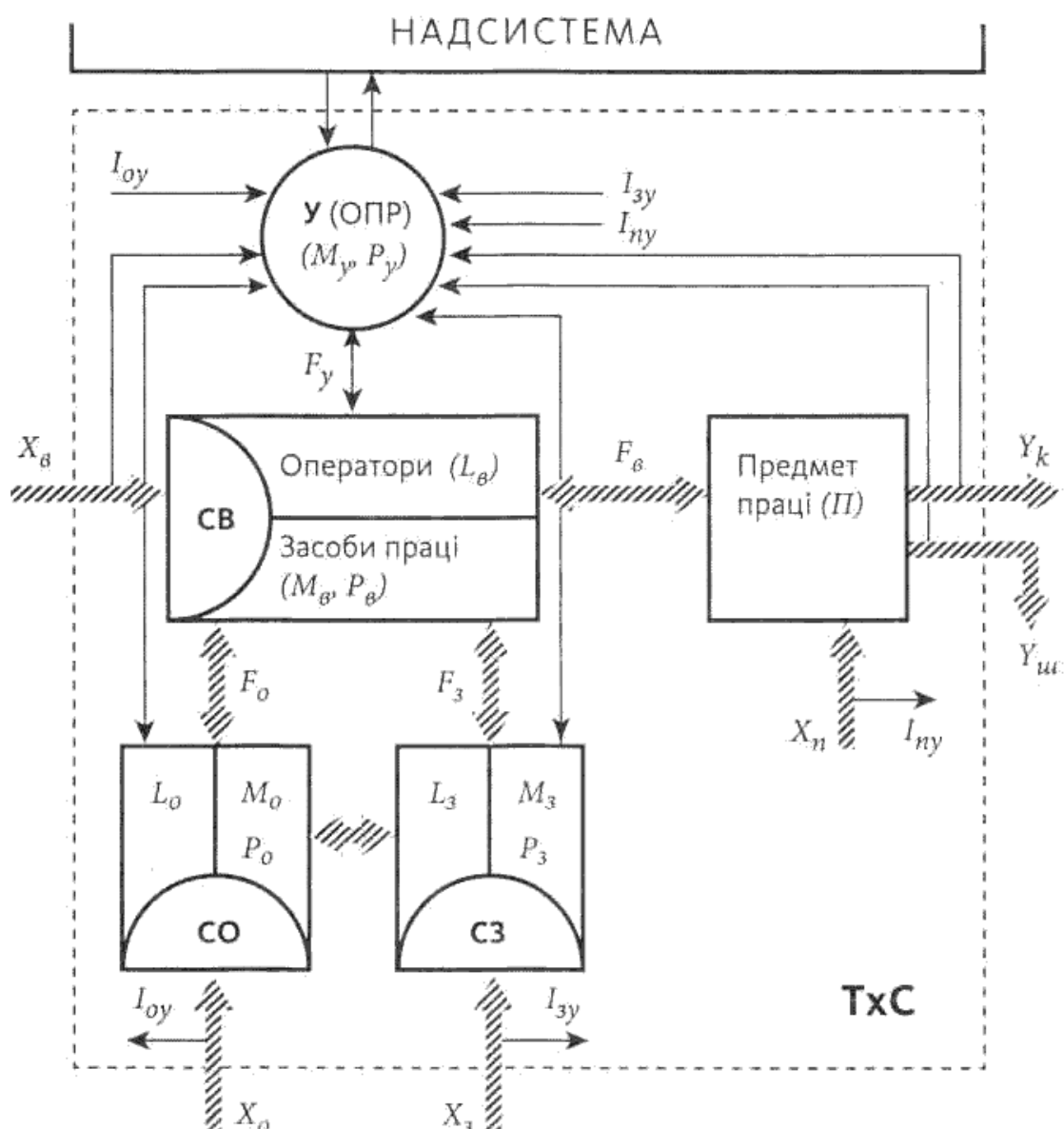


Рис. 1.1. Типова схема аграрних технологічних систем (ТхС)

Умовні позначення:

*СВ* — основна виробнича підсистема;

*СЗ, СО* — складові технологічного забезпечення і технічного обслуговування;

*У, ОПР* — управляюча підсистема і особа, що приймає рішення;

*L, M, P* — виробничий персонал, технічні засоби, ресурси системи;

*F<sub>b</sub>, F<sub>z</sub>, F<sub>o</sub>, F<sub>y</sub>* — функції: основні виробничі, технологічного забезпечення, технічного обслуговування, управління;

*X* — вхідні фактори, що діють на складові системи;

*Y<sub>k</sub>, Y<sub>ш</sub>* — корисні результати і шкідливі наслідки;

I — інформаційні зв'язки, — взаємодії

### Структурно-функціональними складовими ТхС є:

- основна виробнича підсистема (СВ), яка безпосередньо змінює властивості предмету праці (П);
- підсистема технологічного забезпечення (СЗ), яка виконує допоміжні операції і забезпечує ефективне функціонування СВ;
- підсистема технічного обслуговування (СО) забезпечує робо- тоздатність підсистем технічних засобів СВ і СЗ;
- підсистема управління (У) з особою, що приймає рішення (ОПР).

Кожна з цих підсистем включає виробничий персонал і засоби праці. Вони також пов'язані внутрішніми і зовнішніми інформаційними зв'язками (І), а також функціональними взаємодіями (Р).

Засобами праці в аграрних ТхС є переважно машини і обладнання (М). До складу ТхС входять також предмети праці (операнди П), інформація про порядок дій і правила виконання робіт (технологічний регламент), а також управлінська складова, яка забезпечує цілеспрямованість і дотримання регламенту.

Отже, технологічні системи охоплюють предмети праці (операнди), виробничий і управлінський персонал (людина), технічні засоби (машина), технологічні ресурси, виробничу інформацію і зовнішні умови функціонування ТхС (середовище). Тобто технологічні системи доцільно розглядати як узагальнені об'єкти інженерної діяльності. Це дозволяє систематизувати та розширити інженерні функції щодо підвищення ефективності використання трудового і технічного потенціалу, а також екологічності технологій.

Оскільки ТхС є системою-процесом, то її елементами будуть певні впорядковані функції (дії, операції). На рис. 1.2 наведена ієрархія дій від верхнього рівня (технологічного комплексу) до нижнього - елементарні М-, Е-, І- обміни. У залежності від ієрархічного рівня ТхС і завдань її аналізу у ролі елементів системи можуть бути функції або операції.

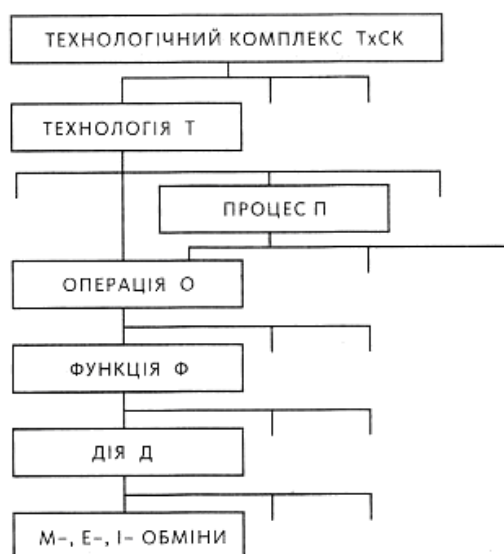


Рис. 1.2. Ієрархія дій в технологічних системах

При аналізі ТхС важливо враховувати, що корисність, ефективність, екологічність системи в цілому та її окремих функцій є їх властивостями, які

проявляється в системі вищого рівня (надсистемі). Тобто ефективність окремих функцій проявляється в операції, операцій - в процесі, процесів - в технології. В цьому полягає дія фундаментального принципу теорії систем - принципу доповнення, згідно з яким система в різних зовнішніх умовах може виявляти нові властивості.

Системний підхід у прийнятті інженерних рішень передбачає розгляд технологічних систем у єдності функцій, елементів, внутрішніх і зовнішніх зв'язків на всіх етапах існування ТхС від проектування до ліквідації. Загальна схема життєвого циклу розкриває основні етапи існування системи (проектування, втілення, використання, ліквідація), а також їх характерні фази (рис. 1.3).

Для технічних засобів як об'єктів інженерної діяльності етапи життєвого циклу ТС реалізуються переважно в різних організаціях: проектування — в конструкторських бюро; втілення — в заводських умовах; використання і утилізація — у сфері аграрного виробництва.

Технологічні системи створюються під конкретні виробничі умови і всі етапи їх життєвого циклу реалізуються за участю фахівців інженерної служби аграрних підприємств. Це потребує відповідної підготовки фахівців до прийняття рішень.

Поєднання структурного макро- і мікроаналізу в інженерії дозволяє виявляти причинно-наслідкові зв'язки, а також диспропорції в розвитку окремих структурно-функціональних компонентів системи.

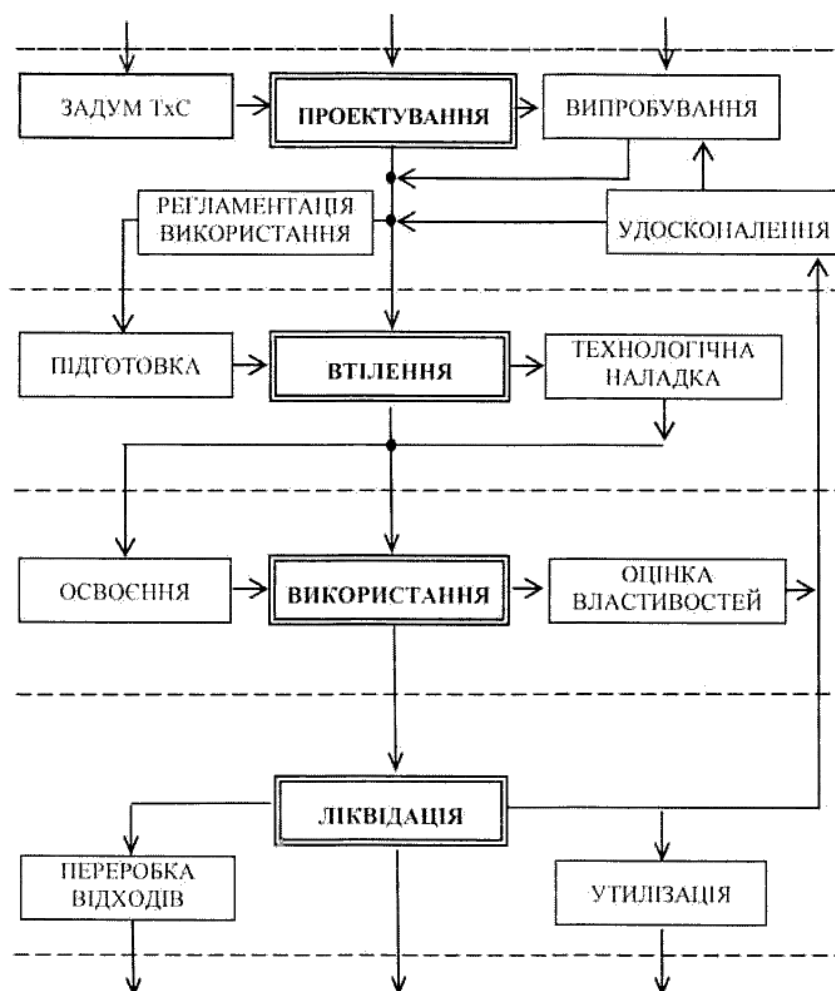


Рис. 1.3. Схема етапів життєвого циклу технологічних систем

Велику різноманітність аграрних ТхС можна класифікувати за наступними ознаками:

- за рівнем ієрархії: операція (ТхСО), процес (ТхСП), технологія (ТхСТ ) і технологічний комплекс ( ТхСК );
- за призначенням: комплексні, спеціалізовані, одноцільові;

- за просторовою організацією: зосереджені, розосереджені;
- за часом або частотою використання: одноразові, багаторазові, сезонні, тривалого застосування;

Прикладами одноцільової одноразової системи на рівні операції (ТхСО) є оранка, на якій можуть бути зайняті різні за складом МТА, що об'єднані одним завданням — провести оранку полів заданої площі у встановлені агротехнічні строки.

Спеціалізованими сезонними системами на рівні процесу (ТхСП) будуть системи для сівби та збирання зернових (або інших) культур, а на рівні технологій (ТхСТ) — системи вирощування та збирання певної культури. На рівні комплексу (ТхСК) спеціалізованою системою тривалого використання буде, наприклад, підприємство з ремонту техніки, а комплексною — аграрне багатопрофільне господарство.

Зосередженими будуть пункти переробки та зберігання продукції, технічного обслуговування машин, тощо. Розосередженими — переважна більшість аграрних ТхС, що виконують польові роботи.

Технічні і технологічні системи існують в тісному функціональному та діалектичному зв'язку (таблиця 1.1). Технологічні процеси реалізуються за допомогою технічних засобів, а кожна технічна система функціонує завдяки своїм внутрішнім технологічним процесам. Розвиток техніки значною мірою зумовлює розвиток технологій і, навпаки, технологічний прогрес сприяє розвитку технічних систем.

Таблиця 1.1.

Приклади технічних і технологічних систем рільництва	
Технічні системи (ТС)	Технологічні системи (ТхС)
Машинний агрегат (МА)	Технологічна операція (ТхСО)
Група машин (ГМ)	Механізований процес (ТхСП)
Комплекс машин (КМ)	Технологія (ТхСТ)
Машинно-тракторний парк (МТП)	Господарський комплекс (ТхСК)

Аграрні технологічні системи є складними динамічними системами біотехнічної сутності, бо включають, крім виробничого персоналу, технічних засобів, також біологічні складові (грунт, рослини, тварини). Взаємодія ТхС рослинництва із середовищем має ту особливість, що земля виступає в них як головний засіб виробництва, а у природному середовищі відбуваються суттєві зміни під впливом активного і цілеспрямованого втручання з боку людини.

Важливою особливістю аграрних ТхС є також і те, що вони відносяться до відкритих систем, які здатні синтезувати природну енергію сонця, вітру, опадів. При високому рівні організації ТхС енерговміст виробленої продукції може на порядок перевищувати сукупні витрати непоновлюваної енергії на її виробництво. Ці обставини мають дуже важливе значення і повинні враховуватися фахівцями інженерної служби при проектуванні, використанні та розвитку аграрних ТхС у екологічно безпечному напрямку.

## СИСТЕМА ПРОФЕСІЙНИХ ЦІННОСТЕЙ В АГРАРНІЙ ІНЖЕНЕРІЇ

Інженерна професія є ключовою у цілеспрямованому розвитку механізованого сільськогосподарського виробництва, обґрунтуванні напрямків науково-технічного прогресу (НТП) та їх здійсненні. Вплив НТП на соціально-економічний розвиток суспільства є незаперечним, проте далеко не однозначне наше розуміння його суті і оцінок. Різноманітність форм прояву НТП при відсутності фундаментальних критеріїв і закономірностей розвитку виробництва часто є причиною вибору помилкових напрямів удосконалення техніки і технологій, несприятливих наслідків господарської діяльності.

Для усвідомлення важливості об'єктивного встановлення цілей і пріоритетів в аграрній інженерії розглянемо визначальні зв'язки природи, суспільства й виробництва (рис. 1. 4)

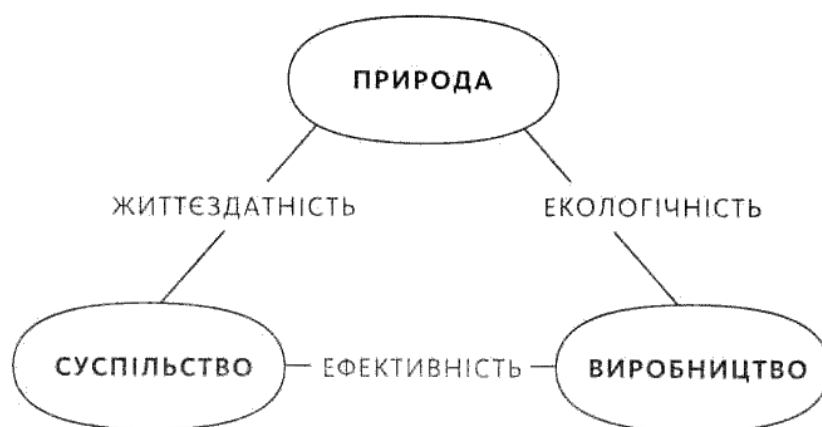


Рис. 1.4. Основні взаємозв'язки природи, суспільства й виробництва

Розвиток виробництва потрібно контролювати показниками життєздатності суспільства і екологічності виробництва. Потенціал життєздатності систем залежить від великої кількості керованих та некерованих чинників, в тому числі й від інтенсивності споживання технологічними системами природних ресурсів та їх відтворення, а також екологічності виробництва. Життєздатність суспільства є особливою проблемою і тут згадується лише для підкреслення важливості формування глобального мислення фахівців, врахування соціальних чинників у прийнятті рішень, гуманітаризації інженерної справи. Забезпечення ж ефективності та екологічності аграрних ТхС входить до числа основних цілей інженерії. Для того щоб відрізнити істинний прогрес від уявного фахівцеві інженерної служби важливо мати сформовану систему професійних цінностей.

*Система професійних цінностей* інженерної діяльності — це впорядкована сукупність цілей, критеріїв, пріоритетів і обмежень.

Процес цілеутворення у загальному вигляді зображений на рис.1.5. Інженерна діяльність має бути спрямована на забезпечення потреб суспільства. Цілі, формуючись під впливом як об'єктивних, так і суб'єктивних чинників, повинні обмежуватись екологічним і моральним імперативами, тобто заборонами які не можна порушити.

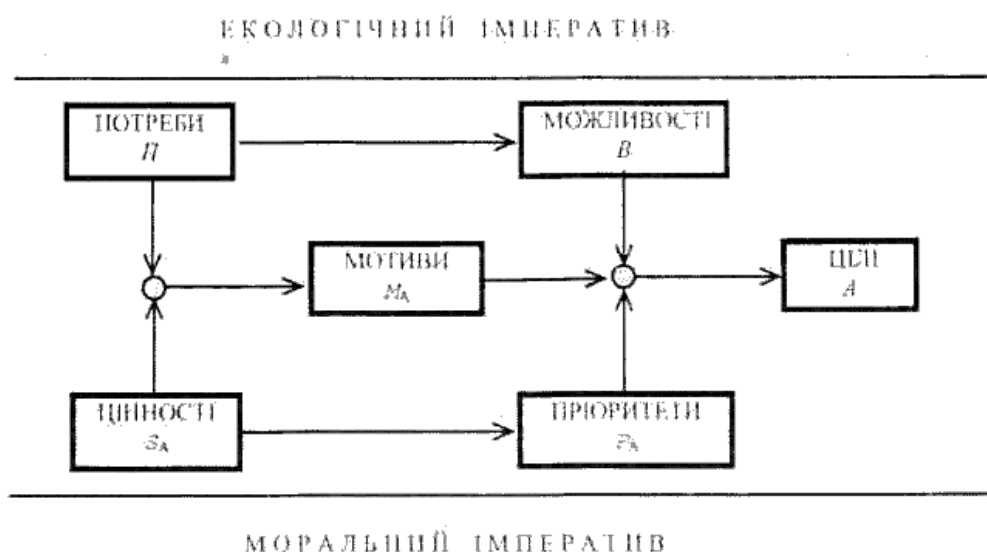


Рис. 1.5. Схема утворення цілей фахової діяльності  
 O — акт прийняття рішення на певній стадії цілеутворення.

Відображення об'єктивних потреб ( $\Pi$ ) впорядковується системою цінностей ( $Sa$ ) фахівця і формує мотивацію до дій ( $M$ ). Обґрунтованість цілей пов'язана з узгодженням потреб і реальних можливостей ( $B$ ) їх задоволення, а також із пріоритетами суб'єкта діяльності щодо цілей ( $P_A$ ). Враховуючи множинність цілей та умов, акт вибору цілей є відповідальним етапом діяльності.

*Цілі* характеризують бажані результати діяльності. На вищих рівнях узагальнення цілі можуть бути задані певним напрямком. Наприклад, підвищити якість механізованих робіт є словесно заданою метою і для її конкретизації потрібно задати множину кількісних показників якості.

*Критерій* ( $K_A$ ) є кількісною мірою цілі. Критерій повинен мати кількісний (числовий) вираз, однозначно і адекватно характеризувати мету, за його значенням можна оцінити рівень наближення до реалізації цілі. Так, продовжуючи попередній приклад, критерієм якості внесення добрив може бути ступінь нерівномірності розподілу добрив по площі поля, яка може бути чисельно виражена коефіцієнтом варіації ( $K_V$ ). Якщо агротехнічними вимогами заданий ступінь нерівномірності 20%, то порівнюючи фактичне значення коефіцієнта  $K_V$  з нормативним  $K_{VN}$ , можемо оцінити рівень наближення до заданої нормативної цілі (див. п.1.1).

*Пріоритети* — це вид ієрархії, що дозволяє упорядкувати елементи певної множини за відношенням їх значимості або переваг.

Встановлення пріоритетів на множині цілей ( $P_A$ ) і критеріїв ( $P_K$ ) може мати об'єктивні і суб'єктивні підстави. В першому випадку відношення переваг задається на основі об'єктивних закономірностей. Об'єктивно пріоритетними є екологічні показники технологій і процесів рослинництва. До цієї групи можна також віднести пріоритети, що встановлені на основі незалежних експертних оцінок.

Суб'єктивні пріоритети можуть бути зумовлені неадекватною оцінкою ситуації, вольовими чинниками, упередженістю та мотивами, що враховують лише особисті інтереси. Особа, що приймає рішення, повинна володіти методами встановлення пріоритетів відповідно до конкретної виробничої ситуації.

Негативний вплив виробництва на екосистему може бути виражений рівнем споживання природних ресурсів і рівнем шкідливих наслідків відносно навколишнього середовища.

У виробництві сільськогосподарської продукції використовуються практично всі види ресурсів, зокрема: природні обмежені (земля, вода, корисні копалини); необмежені або частково обмежені (сонячна радіація, енергія вітру, кліматичні фактори); трудові, матеріально-технічні, енергетичні, фінансові, інформаційні, а також ресурс часу, як один з вирішальних факторів якості робіт і продуктивності виробництва в цілому. Частина з них відноситься до первинних природних ресурсів (земля, вода, корисні копалини, природна енергія, час), інша — до вторинних, які містять у собі первинні ресурси (техніка, добрива, пестициди, тощо).

Виділимо дві групи чинників, що визначають екологічність механізованого аграрного виробництва.

Перша група пов'язана з ефективним і економним використанням усіх видів непоновлюваних ресурсів, тобто ресурсоощадністю. Активізація цих резервів покращує і екологічність, і економічну ефективність виробництва.

Друга група чинників потребує спеціальних затрат на підвищення екологічності (рекультивация й покращання ґрунтів, нейтралізація відходів, моніторинг). Проте це не означає що додаткові затрати ресурсів на підвищення екологічності є недоцільними. Здебільшого вони дають значний ефект системного характеру на тривалу перспективу і є умовою гармонійного розвитку суспільства та природи.

Нераціональне використання ресурсів істотно знижує як економічну ефективність, так і екологічність аграрних ТхС. Тому до числа узагальнених критеріїв розвитку аграрних ТхС потрібно віднести економіко-екологічну ефективність, схема формування якої наведена на рис. 1.6.

Виходячи з об'єктивних закономірностей формування ефективності та екологічності аграрних ТхС, можна побудувати ієрархію цілей і критеріїв за рівнем їх узагальнення (рис. 1.7). Кожна підмножина цілей включає сукупність показників різного ступеню узагальнення.



Рис. 1.6. Приклад схеми факторів, що зумовлюють економіко-екологічну ефективність технологічних систем рільництва



Рис. 1.7. Рівні узагальнення цілей і критеріїв у системі професійних цінностей

Приймаючи рішення за частковими функціональними чи економічними критеріями, потрібно зважувати вплив результатів рішення на показники вищого рівня узагальнення (ефективність, екологічність). Зокрема, зростання економіко-екологічної ефективності є ознакою технологічного прогресу і має об'єктивні пріоритети.

Через свою діяльність фахівець інтегрується в суспільство, тому система його професійних цінностей повинна узгоджуватись із загальнолюдськими цінностями



(духовність, гуманізм, моральність). Саме вони формують моральний і екологічний імперативи процесу цілеутворення (рис. 1.5).

## Лекція №2.

### ОБҐРУНТУВАННЯ ЦІЛЕЙ І КРИТЕРІЇВ, ВСТАНОВЛЕННЯ ПРІОРИТЕТІВ

Питання:

- Процедури цілевстановлення.
- Вибір критеріїв.
- Встановлення пріоритетів у цілях і критеріях.
- Структура задач аграрної інженерії.
- Процес і методи обґрунтування рішень.

### ПРОЦЕДУРИ ЦІЛЕВСТАНОВЛЕННЯ

При формуванні індивідуальної системи діяльності важливу роль відіграє володіння методами та процедурами ціле встановлення.

В аграрній інженерії можна виокремити чотири групи первинних цілеутворювальних факторів:

- корисність, яка виражається множиною показників функціонального призначення і надійності технічних і технологічних систем;
- плата за корисність, що характеризується витратою ресурсів (трудових, енергетичних, технологічних, фінансових);
- безпечність функціонування систем щодо людини і екології;
- час втілення рішень та їх окупності, тривалість життєвого циклу (таблиця 2.1.).

Таблиця 2.1.

Основні фактори цілевстановлення в аграрній інженерії

Група цілей	Фактори цілевстановлення		
	часткові	узагальнені	
Корисність ТС і ТхС Q	Продуктивність, своєчасність, якість робіт; надійність, пристосованість	Ефективність (економічна, енергетична, праці)	Економіко-екологічна ефективність $e = \frac{Q - (C + E_{ш})}{C + E_{ш}}$
Затрати ресурсів C	Час, праця, енергія, технічні засоби, матеріали, кошти	$W_e = \frac{Q - C}{C}$	
Шкідливі техногенні наслідки E <sub>ш</sub>	Ущільнення і ерозія ґрунтів, втрати гумусу, забруднення довкілля F <sub>ш</sub>	Шкідливість систем E <sub>ш</sub> = $= \sum_i \sum_k E_{шik}$	
Час T	Час життєвого циклу систем, освоєння, окупності	Відношення часу окупності до тривалості використання	
Безпечність	Безпека і умови праці	Закони, нормативи	

Кожну групу цілей характеризує множина часткових та узагальнюючих показників, які розкривають певні властивості систем.

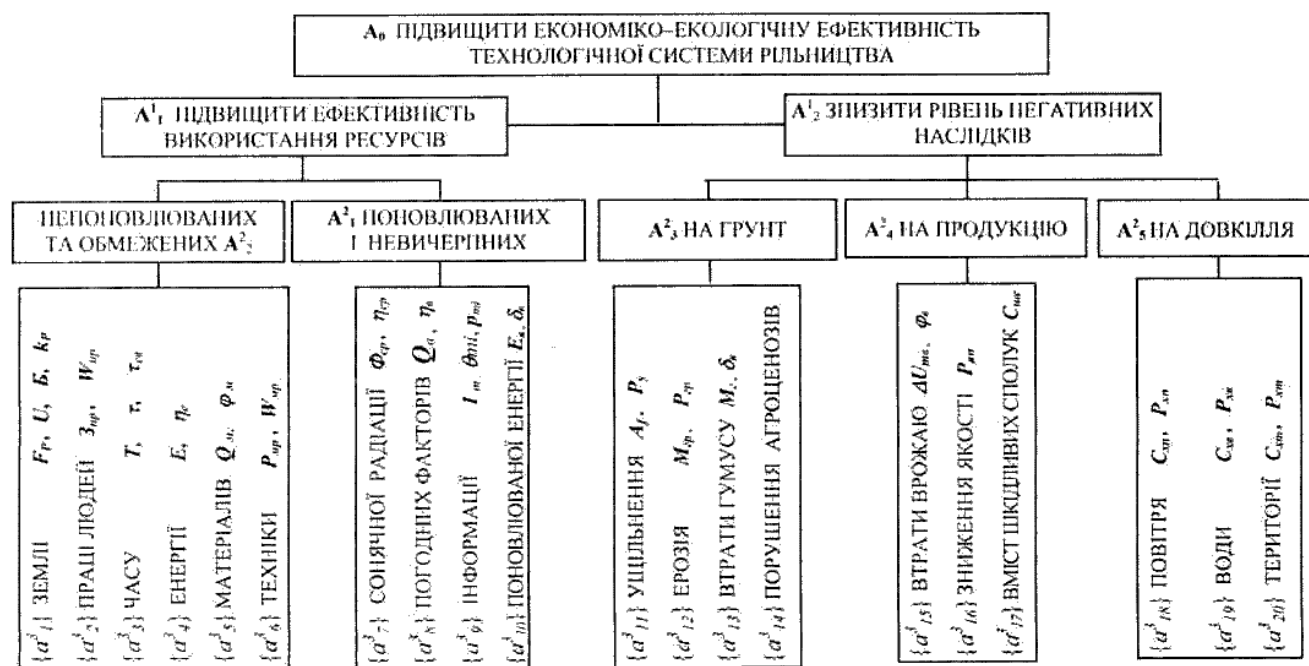


Рис. 2.1. Приклад побудови дерева цілей

Умовні позначення:  $F_p, U, B, k_p$  — площа ріллі, урожайність, бонітет ґрунтів, ступінь розораної землі;  $Z_{np}, W_{np}$  — затрати і продуктивність праці;  $T, \tau_{sv}$  — ресурс часу, коефіцієнти використання часу і своєчасності робіт;  $E, e$  — споживання і коефіцієнт корисного використання енергії;  $Q_m, m$  — витрата і коефіцієнт корисного використання матеріалів;  $P_{mp}, W_{mp}$  — рівень механізації і продуктивність техніки;  $\Phi_{cp}, \eta_{cp}$  — потік і коефіцієнт використання фотосинтезуючої радіації (ФАР);  $Q_{в, в}$  — природна забезпеченість вологою і коефіцієнт її використання;  $I_m, m_i, p_{mi}$  — наявність, якість і рівень використання інформації;  $E_{в, в}$  — виробництво і частка поновлюваної енергії;  $A_f, P_y$  — робота і рівень ущільнення ґрунтів;  $M_{gp}, M_g$  — маса ґрунту і гумусу;  $P_{gp, в}$  — рівень ерозії ґрунту і частка гумусу;  $U_{тв, в}$  — технологічні втрати врожаю і коефіцієнт втрат;  $P_{яп}$  — рівень зниження якості продукції;  $C_{usc}, C_{xn}, C_{xв}, C_{xm}$  — концентрація шкідливих сполук у продукції, повітрі, воді, на території;  $P_{xn}, P_{xв}, P_{xm}$  — рівень забруднення повітря, води, території.

Спираючись на схему ієрархії цілей, можна побудувати дерево цілей за такими правилами (рис. 2.1):

- *рівень* — найбільш загальна мета  $A_0$  фахової діяльності, а саме: підвищення економіко-екологічної ефективності ТхС;
- *й рівень* — узагальнені  $i$ -ті складові  $A^1_i$  загальної мети, тобто: підвищити економічну ефективність ТхС ( $A^1_1$ ), підвищити екологічну ефективність ТхС ( $A^1_2$ );
- *й рівень* — множина часткових (локальних) цілей стосовно окремо взятої складової 1-го рівня ( $A^2_i$ );
- *й рівень* — множина елементарних цілей  $\{a^3_i\}$ , що забезпечує досягнення цілей 2-го рівня.

Загальна мета і її узагальнені складові можуть бути сформульовані словесно (вербально), кількість рівнів деталізації окремих часткових цілей може бути різною, але важливим правилом є забезпечення на нижньому рівні повного не надлишкового набору елементарних цілей, які мають кількісний вираз (числове значення). Ця вимога передбачає можливість подальшого обґрунтування критеріїв як кількісної міри цілей з різним рівнем узагальнення.

На прикладі підвищення економіко-екологічної ефективності ТхС рільництва (рис. 1.8) показана можливість кількісного виразу елементарних цілей на нижньому рівні дерева цілей. Лиш порушення агро- чи біоценозів (наприклад, при оранці, спалюванні

соломи на полях) не має кількісного показника, але у цьому випадку можуть бути використані так звані лінгвістичні змінні (суттєво, несуттєво, значно, краще, гірше, тощо) і методи нечітких множин. На множині кількісних показників можна формувати критерії різної конфігурації.

## ВИБІР КРИТЕРІЇВ

За допомогою критеріїв як кількісної міри наближення до цілі здійснюється оцінка альтернативних варіантів рішень і прийняття кращого з них. Критерії формуються з числових показників нижнього рівня дерева цілей. У зв'язку з великою кількістю часткових показників виникає потреба їх відбору або об'єднання для зниження розмірності задачі і побудови зручної моделі прийняття рішення, на множині часткових показників можна формувати різні їх комбінації, але далеко не всі вони можуть бути критеріями, критерій повинен відповідати таким вимогам:

- відображати найбільш суттєві стосовно цілі характеристики результатів рішення, тобто бути адекватним до цілі;
- мати числовий вираз, що забезпечує однозначність оцінки результатів рішення.
- у прийнятті рішень розрізняють три види критеріїв: критерії придатності, оптимізації та адаптивізації рішень.

При застосуванні критеріїв придатності раціональним вважається рішення, при якому значення критерію відповідає умовам

$$W_A^+(u) \geq [W_A]; \quad W_A^-(u) \leq [W_A], \quad u \in U, \quad (1.2)$$

де  $(u)$  — показник результатів рішення  $u \in U$ , який покращується у напрямку зростання числових значень (корисність, вигаш);

$(u)$  — показник оцінки результатів, покращання якого відбувається у напрямку зниження (витрати, програш);

$[W_A]$  — гранично допустиме значення показника.

Отже, за критерієм придатності множина можливих рішень (стратегій) ділиться на дві підмножини — придатних  $()$  і непридатних  $()$  рішень. Такі критерії часто застосовують як обмеження при розв'язанні інженерних задач.

Прикладами критеріїв придатності для обґрунтування рішень у сфері аграрного машиновикористання є:

- оцінка своєчасності виконання робіт, тобто  $T_\phi$  [Т],

Де  $T_\phi$ , [Т] — фактична і гранично допустима тривалість;

- оцінка придатності машинних агрегатів за умовою допустимого тиску ходових систем на ґрунт  $p_r$  [ $p_r$ ];

- оцінка умов праці за нормативними значеннями показників.

Оптимальні рішення означають встановлення найкращого з можливих варіантів, що відповідає умовам

$$W_A^+(u) = \max W_A; \quad W_A^-(u) = \min W_A, \quad u \in U. \quad (1.3)$$

Наприклад, оптимізація строків проведення збирання зернових культур за критерієм мінімуму прямих затрат ( $C_P$ ) і вартості втрат урожаю ( $C_B$ ):  $E_{opt} = (C_P + C_B) \rightarrow \min$ .

Обидва підходи є недостатньо гнучкими, бо не враховують можливих змін ситуації в процесі реалізації рішень.

Концепція адаптивних стратегій передбачає можливість зміни цілей, параметрів і структури системи на основі апріорної, оперативної чи прогнозованої інформації. В цьому випадку

$$\begin{aligned} W_i^+(u^*(t), \tau) &\geq [W_i(u(t), \tau)]; \\ W_i^-(u^*(t), \tau) &\leq [W_i(u(t), \tau)], \quad u(t) \in U(t, \tau), \end{aligned} \quad (1.4)$$

де  $u^*(t)$  — вибрана адаптивна стратегія з множини можливих  $u(t)$ ;

$t$  — системний час;

$\tau$  — випередження прогнозу;

$W_t$  — показник ефективності, що може змінюватися в часі залежно від ситуації.

Прикладом адаптивних стратегій у машиновикористанні є зміна критеріїв у прийнятті однотипних рішень протягом сезону. Зокрема, в напружені («пікові») періоди робіт рішення можуть прийматися із застосуванням критеріїв максимуму продуктивності, тоді як у менш напружені періоди — мінімуму експлуатаційних затрат. Для вибору раціональної стратегії проведення польових робіт у сільському господарстві часто використовують прогнози погоди на певні проміжки часу. Адаптивні стратегії дозволяють забезпечити необхідну гнучкість інженерних рішень.

Прагнення побудувати критерії, які достатньо повно характеризували б різні властивості системи, призвело до появи певних принципів розробки узагальнюючих критеріїв.

*Адитивна* форма критерію має вигляд:

$$K = \sum \lambda_i K_i, \quad (1.5)$$

де  $K$  — узагальнюючий критерій;

— часткові показники та їх відносна значимість (ваговий коефіцієнт).

У випадках, коли часткові показники  $K_i$  є різними за фізичним змістом і мають різні розмірності, їх зводять до безрозмірного вигляду шляхом нормування. Нормуючим дільником може бути характерне значення показника  $K_i$  (середнє, максимальне, мінімальне), різниця між максимальним і мінімальним значеннями ( $K_{i \max} - K_{i \min}$ ) в області рішень. Застосовується нормування показників до відповідних значень базової системи або такої, що прийнята за «ідеал». Отже, узагальнений критерій при нормуванні часткових показників має вигляд:

$$K = \sum \lambda_i (K_i / K_{0i}), \quad (1.6)$$

де  $K_{0i}$  — нормуючий дільник.

Прямі грошові витрати на проведення технологічної операції  $S$  складаються із суми амортизаційних відрахувань  $S_a$ , витрат на технічне обслуговування і ремонт  $S_{mo}$ , паливо  $S_{пм}$ , заробітну плату  $S_{зн}$  та допоміжні роботи  $S_d$ :

$$S = S_a + S_{mo} + S_{пм} + S_{зн} + S_d, \quad (1.7)$$

У наведеному прикладі нормування часткових показників не проводиться, бо всі складові рівняння мають однакову розмірність, а загальний показник є природним виразом вартості операції. З цієї ж причини немає потреби вводити вагові показники  $\lambda_i$ , тобто  $\lambda_i = 1$ .

При часткових показниках із різною фізичною природою значення вагових коефіцієнтів  $\lambda_i$  встановлюють шляхом експертної оцінки значимості кожної складової, що не завжди відображає істинну їх роль. У таких випадках може бути також небажана взаємна компенсація часткових показників. Тому адитивні критерії рекомендується використовувати у вузьких межах зміни окремих складових.

*Мультиплікативна форма* узагальненого критерію має вигляд добутку часткових показників:

$$K = \prod K_i \quad (1.8)$$

Така форма не вимагає нормування часткових показників, що є перевагою у порівнянні з адитивним критерієм. Недоліком такого виразу узагальненого критерію є те, що надлишкове значення одного часткового показника компенсує недостатнє значення іншого. Крім, того, роль часткових показників істотно залежить від їх числового значення.

У випадках, коли значимість окремих множників є суттєво відмінною, ватові коефіцієнти вводять у вигляді показника ступеня:

$$K = \prod K_i^{\lambda} \quad (1.9)$$

У практиці поширені відносні критерії типу:

$$K = R/S \quad \text{або} \quad K' = S/R, \quad (1.10)$$

де  $R$  — корисні результати функціонування системи;

$S$  — сумарні затрати.

Недоліком критеріїв такого типу є те, що відносна форма не розрізняє варіанти із пропорціональною зміною чисельника і знаменника. У зв'язку з цим відносні критерії рекомендується застосовувати лише як доповнюючі.

Приведений короткий аналіз переваг і недоліків різних критеріїв засвідчує про певні труднощі, що стоять перед ОНР при виборі критерію. Це вимагає від фахівців інженерної служби впорядкування сукупності критеріїв у рамках системи професійних цінностей. Впорядкування здійснюється відповідно до значимості та рівня узагальнення критеріїв. Звичайно склад критеріїв і їх значимість з часом можуть змінюватись і стабілізуються як економічними результатами, так і пріоритетами загальнолюдських цінностей, що включають і екологію.

## ВСТАНОВЛЕННЯ ПРІОРИТЕТІВ У ЦІЛЯХ І КРИТЕРІЯХ

Ієрархія критеріїв за рівнем узагальнення не завжди відображає реальні потреби. Так, при дефіциті окремого ресурсу (наприклад, часу чи палива) його оптимальне витрачання може бути важливішим за більш загальні показники (приведені витрати коштів). Тобто пріоритети можуть змінюватись у часі залежно від обставин, тому важливо володіти сучасними експертними методами встановлення пріоритетів у цілях і критеріях стосовно конкретної виробничої ситуації.

В інженерній діяльності часто потрібно здійснити ранжування критеріїв за їх значущістю або вибрати один чи декілька критеріїв з числа рівноправних показників. З численних методів упорядкування множин найбільш придатними для встановлення пріоритетів у інженерії є експертні методи попарного порівняння. Суть методу полягає в тому, що встановити відношення переваги при порівнянні двох критеріїв переважно не викликає труднощів, тоді як встановлення переваг на всій множині критеріїв може бути ускладненим. Крім того метод попарного порівняння дає можливість здійснити не лише ранжування критеріїв, але й встановити числові значення коефіцієнтів їх значущості.

Достатню точність оцінок забезпечує встановлення пріоритетів за шкалою коефіцієнтів:

$$k_{ij} = 1.5 \Rightarrow a_i \succ a_j; \quad k_{ij} = 1.0 \Rightarrow a_i \approx a_j; \quad k_{ij} = 0 \Rightarrow a_i \prec a_j. \quad (1.11)$$

Знак « $\succ$ » означає відношення переваги. Зокрема, вираз  $a_i > a_j$  означає, що  $a_i$  переважає  $a_j$ . Вираз  $a_j > a_i$  означає, що  $a_j$  переважає  $a_i$ , інакше це ж саме можна записати як  $a_i < a_j$ , тобто  $a_i$  поступається  $a_j$ .

При попарному порівнянні будується матриця (табл. 2.2), в якій на перетині рядка і стовпчика проставляють коефіцієнти переваг  $k_{ij}$  елемента  $i$ -го рядка ( $a_i$ ) у порівнянні з елементом  $j$ -го стовпчика ( $a_j$ ). Параметр  $P_i$  визначається як сума добутків кожного елемента  $i$ -того рядка на елементи вектор-стовпчика  $k_{ij}$  тобто у розгорненому варіанті має вигляд:



участю фахівців інженерної служби підприємства. З цього випливають узагальнені інженерні функції, а саме: аналіз виробничих ситуацій і систем, проектування систем, планування та організація робіт, управління виробничими процесами. Інженерні функції, як правило, потребують розв'язання задач, обґрунтування рішень та їх реалізації.

*Задача* — це форма завдання, спрямованого на досягнення мети в заданих умовах шляхом обґрунтування раціонального поєднання керованих змінних (факторів).

Структурну модель сукупності інженерних задач можна побудувати у тривимірному просторі з осями: функції, цілі, умови (рис. 2.2). Розкриття цієї моделі або так званого морфологічного ящика вимагає конкретизації функцій, критеріїв, необхідних і достатніх умов, на основі чого здійснюється формулювання задач.

Аналітичні функції полягають в оцінці виробничих ситуацій і систем на певний момент часу, встановленні причинно-наслідкових зв'язків і засобів управління процесами. Аналіз може здійснюватись як за відомими, так і за оригінальними алгоритмами і методиками. Здатність до системного аналізу є необхідною умовою творчої інженерної діяльності.

*Проектування* — це цілеспрямована послідовність прийняття рішень щодо синтезу систем або окремих їх складових, розроблення інформаційного забезпечення використання систем. Кінцевим продуктом проектування є технічна документація, яка необхідна для втілення і ефективного використання ТС і ТхС. Зокрема, до інформаційного забезпечення відноситься експлуатаційний і технологічний регламенти.

*Планування* — це часове впорядкування робіт, яке включає обґрунтування послідовності, тривалості і термінів їх проведення. Фахівці інженерної служби здійснюють перспективне, річне, етапне та оперативне планування.

Перспективне планування стосується технологічного розвитку виробництва і спирається на нормативно-цільове прогнозування.

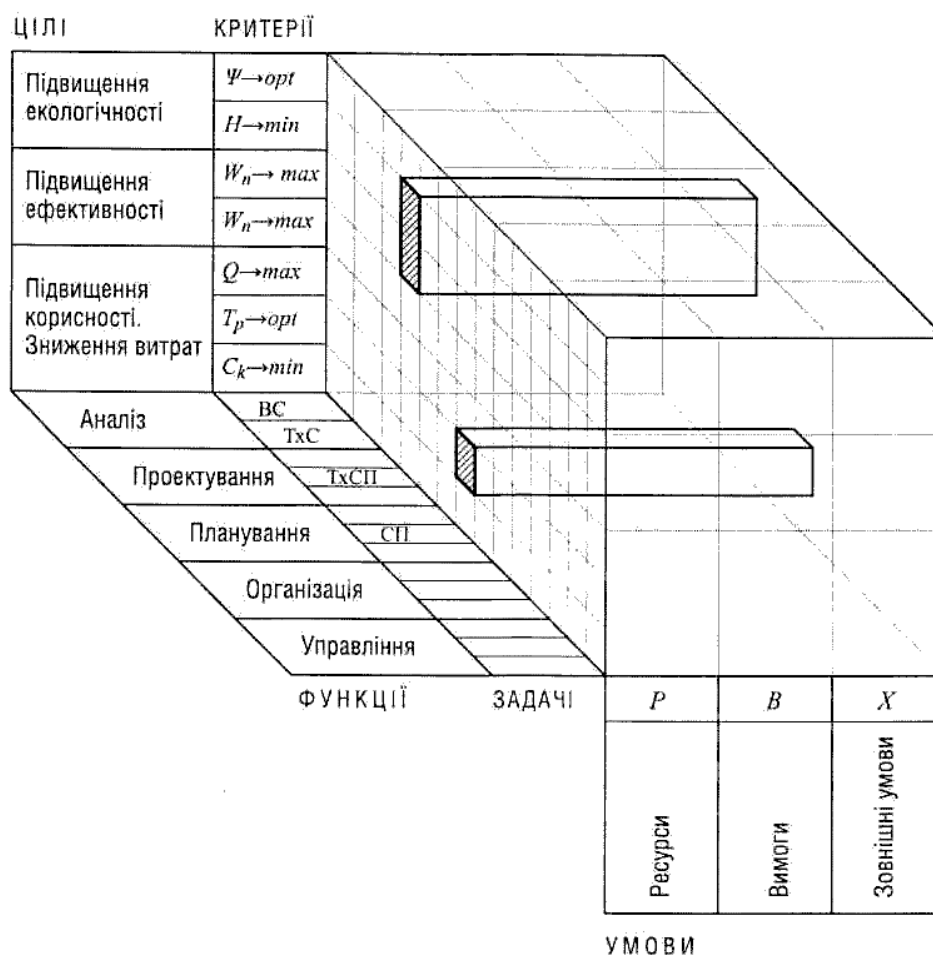


Рис. 2.2. Морфологічна модель задач аграрної інженерії

Умовні позначення:

ВС — виробнича ситуація;

ТхС — технологічна система;  
ТхСП — технологічна система процесу;  
СП — сітьове планування робіт;  
 $C_k \min$  — мінімуму витратів коштів;  
 $T_p \text{ opt}$  — оптимальних затрат часу (своєчасності робіт);  
 $Q \text{ max}$  — максимуму показників корисності;  
 $W_e \text{ max}$  — максимуму економічної ефективності;  
 $W_n \text{ max}$  — максимуму ефективності праці;  
 $H \min$  — мінімуму негативних екологічних наслідків;  
 $\text{opt}$  — оптимального відтворення ресурсів і середовища.

Враховуючи сезонність аграрного виробництва, річне планування є найбільш поширеним в інженерній практиці (річні план-графіки механізованих робіт, технічного обслуговування, матеріально-технічного забезпечення).

Етапне планування стосується розроблення планів окремих технологічних циклів (кампаній), зокрема, сівби, заготівлі кормів, збирання сільськогосподарських культур, тощо).

Оперативне планування передбачає коректування річних і етапних планів при певних відхиленнях від номінального ходу виробничих процесів або очікуваних умов.

*Організація* означає впорядкування структури і взаємодій складових елементів системи з метою зниження невизначеності (ентропії), а також підвищення ефективності використання ресурсів (зовнішньої енергії) і часу. Організація ТхС спрямовується на раціональне поєднання праці людей і засобів виробництва (машин, ресурсів), зниження втрат і підвищення коефіцієнтів корисної дії системи (енергетичного ККД, коефіцієнтів використання часу і матеріальних ресурсів).

*Управління* — це процес, що здійснюється через інформаційні обміни і спрямований на забезпечення досягнення мети, стабільності функціонування і розвитку систем. Інформаційні потоки до ОПР надходять через зворотні зв'язки, а від ОПР до виконавців — у вигляді директивних рішень. Автоматизовані системи управління, електронні засоби зв'язку та інформаційного забезпечення є сучасним інструментарієм управлінських функцій.

Функціональний вимір морфологічної моделі (рис. 2.2) задає суть задачі, тобто те що потрібно встановити у процесі її розв'язку. Наприклад, оптимізувати склад машинно-тракторного парку (МТП) господарства (проектування), розробити план збирально-транспортних робіт (планування), організувати проведення діагностування і технічного обслуговування МТП (організація), забезпечити технологічну дисципліну проведення робіт (управління).

Цілі для кожної задачі потрібно задавати у критеріальній формі, виходячи з умови, що кожній окремій цілі ставиться у відповідність один або декілька критеріїв.

Так, на рис. 2.2 задача планування може бути сформульована так: *розробити сітьовий план механізованих робіт з метою оптимізації затрат часу ( $T_p$  — opt) в заданих умовах і з урахуванням вимог і наявних ресурсів.*

Задача проектування може мати таке формулювання: спроектувати технологічну систему процесу (наприклад, ТхСП збирання зернових культур) з метою забезпечення максимуму економічної ефективності ( $W_e \text{ max}$ ) при мінімальних екологічно шкідливих наслідках ( $H \min$ ) для заданих умов, з урахуванням вимог і наявних ресурсів. Тобто у даному випадку задача є двокритеріальною.

Вище наведене загальне формулювання задач, які можуть включати низку проміжних задач. Так, для задачі проектування ТхСП потрібно обґрунтувати оптимальні терміни збирання з урахуванням можливих втрат зерна і потреби в ресурсах, вибрати раціональні технічні засоби, узгодити взаємодію збиральних і транспортних засобів.

В умовах задачі потрібно відобразити наявні ресурси  $P$ , вимоги і обмеження  $B$ , характеристики середовища (зовнішні умови)  $X$ .



*Ресурси* зумовлюють потенційні можливості досягнення цілей і включають основні та обігові фонди виробництва. Головним засобом сільськогосподарського виробництва є земля. До числа важливих невідтворюваних ресурсів відноситься час, який суттєво впливає на кінцеві результати виробництва. Крім того функціонування ТхС забезпечують трудові ресурси, технічні засоби, технологічні матеріали, енергетичні та фінансові ресурси. Зокрема, від останніх суттєво залежать розміри всіх інших ресурсів крім часу.

*Вимоги і обмеження* можуть стосуватися властивостей ТС і ТхС, умов і результатів їх функціонування (агротехнічні та екологічні вимоги, вимоги щодо безпечності робіт, тощо).

*Зовнішні умови* характеризують властивості предметів праці, а також середовища, в якому функціонує ТхС. Причому задаються лише ті природно-виробничі умови, які суттєво впливають на результати або наслідки функціонування ТхС.

Таким чином, розкриття морфологічного ящика стосовно посадових обов'язків інженера полягає у формулюванні сукупності задач з чітко визначеною цільовою функцією, необхідними і достатніми умовами. Кожна задача займає окрему чарунку ящика, а у багатокритеріальній постановці — блок чарунок.

Інструментарій інженера включає необхідний арсенал методів і засобів ефективного виконання професійних функцій. Володіння сучасними методами системного аналізу виробничих ситуацій і обґрунтування рішень, комп'ютерними технологіями і засобами (автоматизоване робоче місце — АРМ інженера, автоматизована система управління — АСУ, тощо) є невідмінною умовою успішної діяльності інженерів і цілеспрямованого екологічно безпечного розвитку аграрного виробництва.

## **ПРОЦЕС І МЕТОДИ ОБҐРУНТУВАННЯ РІШЕНЬ**

Якість прийнятих рішень залежить від того, наскільки ОПР володіє сучасними методами і процедурами наукового їх обґрунтування. А це означає, що необхідно оволодіти методами вибору і прийняття рішень із застосуванням математичних моделей, алгоритмів і процедур аналізу ситуації і синтезу рішення.

Певний скептицизм керівників виробництва і спеціалістів до економіко-математичних методів обґрунтування рішень нерідко пояснюють складністю виробничих процесів, впливом значної кількості некерованих факторів на результати рішень, недосконалістю математичного апарату. З іншого боку фахівці, що розробляють математичний апарат прийняття рішень, нарікають на невміння виробничників правильно поставити задачу. Не варто нехтувати жодними із цих аргументів, бо вони мають реальні підстави. Плідної взаємодії можна досягнути, якщо фахівці аграрного профілю оволодіють методологією і арсеналом ефективних методів обґрунтування рішень. Загальна схема процесу прийняття рішень наведена на рис. 2.3.

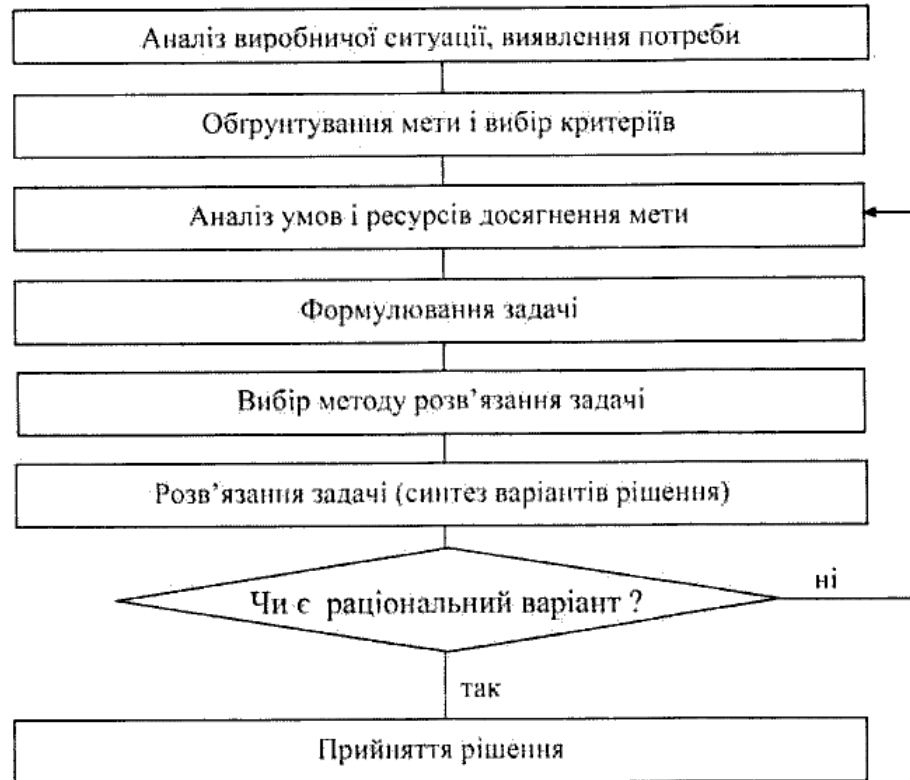


Рис. 2.3. Загальна блок-схема прийняття рішень

Сукупність методів обґрунтування рішень можна поділити на дві групи: евристичні й аналітичні.

Евристичні методи спираються на досвід та інтуїцію. При цьому процеси мислення, в результаті яких генерується рішення, можна подати у вигляді кібернетичного «чорного ящика». Тобто внутрішні закономірності, що перетворюють вхідну інформацію у вихідне рішення, не піддаються опису, а ОПР можна порівняти з чарівником або щасливчиком, що вирішив задачу невідомим йому самому способом (еврика!).

Аналітичні методи передбачають синтез рішення з використанням математичних моделей і певних алгоритмів. Якість рішення в цьому випадку залежить від адекватності моделі, тобто її відповідності реальному об'єкту чи процесу за найбільш важливими властивостями.

Евристичні і аналітичні методи мають певні переваги і недоліки. Так, опора евристики на досвід та інтуїцію не дозволяє вирішувати багатоваріантні задачі з урахуванням значного числа факторів. Відомо, що людина здатна оперувати одночасно 5-7 факторами, при цьому часто не враховується багато істотних для процесу факторів. Тому немає гарантії, що прийняте рішення є оптимальним або хоча б задовільним. І все ж, евристичні методи успішно використовуються для вирішення творчих задач вдосконалення виробничих і технічних систем. На даний час розроблені ефективні методи активізації творчого мислення, пошуку нестандартних рішень.

Основними труднощами аналітичних методів є забезпечення адекватності моделі, уникнення невизначеності цілей і умов, врахування факторів, що не мають кількісного виразу (психологічні, ергономічні та ін.)

Множину моделей прийняття рішень можна умовно класифікувати за схемою (рис. 2.4).

На схемі виділені лише принципово важливі ознаки моделей. Так як практично всі перелічені ознаки є взаємно сумісними і можуть поєднуватись у будь-якій комбінації, то число класів моделей буде дорівнювати  $2^5 = 32$ .

Виділимо найбільш поширені в інженерній практиці аналітичні моделі прийняття рішень.

*Розрахункові детерміновані моделі* характеризуються наявністю однієї або сукупності аналітичних залежностей, методики (алгоритму) розрахунку, повного визначеністю умов і змінних факторів. Наявність невизначеності ймовірнісної природи усувається заданням відповідних статистичних характеристик випадкових величин (математичне сподівання, дисперсія).

Моделі цього класу, як правило, прості, хоча можуть бути трудомісткими. Значне скорочення затрат часу на розрахунки досягається при використанні комп'ютерних програм.

В машиновикористанні такі моделі поки що найбільш поширені. Визначення потреби в техніці, розрахунок плану механізованих робіт і технічного обслуговування, визначення розмірів площадок для тривалого зберігання техніки і багато інших задач вирішуються за допомогою розрахункових детермінованих моделей.

*Оптимізаційні моделі* передбачають встановлення таких значень керованих змінних, при яких величина критерію є найближчою до цілі з усіх інших можливих рішень у заданій області зміни факторів. Із великої різноманітності оптимізаційних моделей виділимо наступні.

*Одномірна оптимізація* без обмежень характеризується наявністю цільової функції з однією змінною. Такі задачі вирішуються класичними методами знаходження екстремуму функцій, що диференціюються. Звичайно, що одномірна оптимізація може використовуватися лише в найпростіших часткових задачах, бо не дозволяє врахувати взаємодії багатьох факторів на кінцеве рішення.

*Багатомірна оптимізація* полягає у знаходженні оптимуму (найкращого рішення) функцій з декількома змінними.

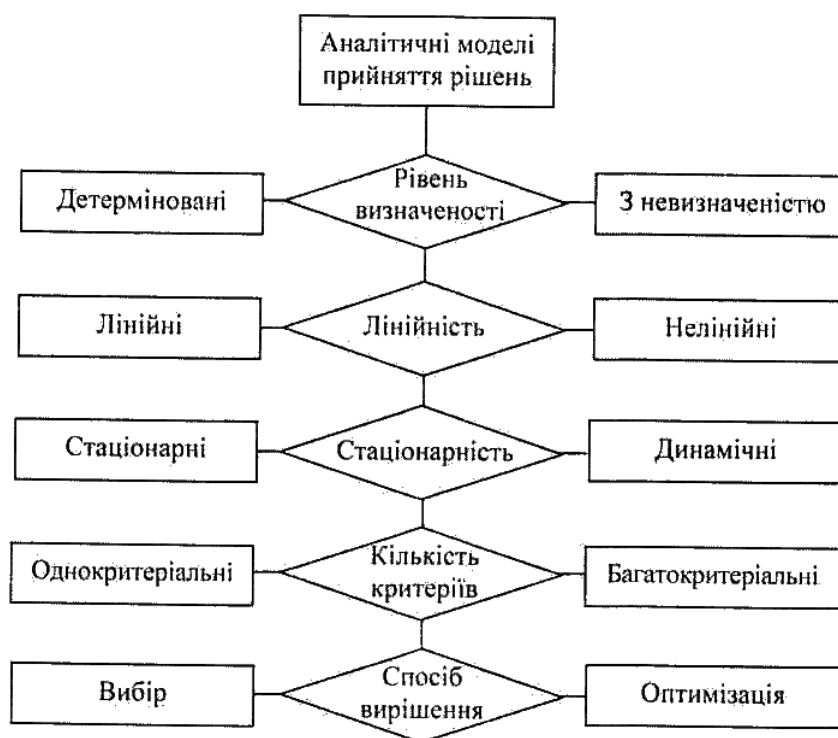


Рис. 2.4. Схема класифікації моделей обґрунтування рішень.

У сфері експлуатації МТП задач такого типу є досить багато. Наприклад, продуктивність МТА може бути виражена як функція параметрів і режиму роботи агрегату (ширина захвату, робоча швидкість, норма внесення), польових умов (рельєф, довжина гону, площа поля). З врахуванням взаємозв'язків керованих факторів така функція може мати екстремум.

Значну групу багатомірних функцій складають емпіричні рівняння регресії, за допомогою яких виражається ряд показників.

*Лінійне програмування* відноситься до класу оптимізаційних методів при наявності обмежень. При цьому змінні фактори входять до цільової функції та обмежень у першій степені. Термін «програмування» запозичений із зарубіжної літератури і відображає процес прийняття рішень, а не розробку програм.

Прикладами задач, що вирішуються методами лінійного програмування, є розподіл техніки за видами робіт (завантаження обладнання), оптимальне планування перевезень вантажів (транспортна задача), ефективний розподіл, дефіцитних ресурсів, визначення оптимальних запасів (нафтопродуктів, запасних частин тощо).

Методи *динамічного програмування* використовують для обґрунтування рішень у багатоетапних процесах. При цьому здійснюється знаходження кращого рішення на кожному етапі (кроці), яке забезпечувало б оптимальний сукупний результат, тобто за сумою всіх кроків.

До задач такого класу можна віднести розподіл ресурсів у часі, коли кроками будуть окремі закінчені технологічні цикли.

При вирішенні багатьох інженерних задач необхідно враховувати цілочисельні фактори. Так, трактори, сільгоспмашини, обслуговуючий персонал не можна виразити дробовими величинами. У таких випадках використовують *цілочисельне програмування*, яке об'єднує специфічну групу методів лінійного і динамічного програмувань.

При врахуванні випадкових факторів застосовують *ймовірнісні методи* обґрунтування рішень. Зокрема, цілий ряд інженерних задач можна вирішити методами теорії масового обслуговування, яка є складовою частиною теорії ймовірностей.

Пункти технічного обслуговування, станції заправки паливом, транспортно-технологічні процеси можна змодельовувати як системи масового обслуговування (СМО).

Метою оптимізації СМО є максимізація пропускної здатності або мінімізація простоїв замовлень при очікуванні обслуговування.

У сільськогосподарському виробництві нерідко виникають задачі, коли складно врахувати ймовірність появи тих чи інших ситуацій (наприклад, поведінка конкуруючої сторони). Прийняття рішень в умовах невизначеності здійснюється з використанням *методів теорії статистичних рішень і теорії ігор*. Їх метою є зниження величини ризику, обґрунтування такої стратегії поведінки, яка передбачала б певні дії при виникненні тієї чи іншої ситуації.

*Багатокритеріальні моделі* прийняття рішень враховують декілька цілей. Продуктивність, якість, експлуатаційні затрати, екологічність — ці та інші показники повинні враховуватись при проектуванні виробничих процесів, обґрунтуванні комплексів машин, виборі проекту виробничих об'єктів тощо.

Якщо вдається побудувати узагальнений критерій, який включав би основні часткові критерії, то задача зводиться до *багатомірної оптимізації*. В інших випадках застосовують *методи субоптимізації* (часткової оптимізації), послідовного використання критеріїв, вибору раціонального рішення за критерієм відстані до цілі.

Методи вибору раціональних рішень переважно є простішими від оптимізаційних і на даний час переважають в інженерній практиці. Вибір раціонального рішення передбачає наявність альтернативних варіантів, критеріїв вибору і правила вирішення.

Із сукупності методів вибору рішень доцільно виділити функціонально-вартісний аналіз (ФВА), який дозволяє обґрунтувати раціональне рішення за критеріями корисності і плати за корисність (кошти, енергія, шкідливі наслідки). Більшість задач машиновикористання можна вирішити з використанням ФВА. Це пояснюється тим, що на певних етапах даного методу можуть бути використані всі інші методи і процедури. Тобто ФВА практично виступає в ролі технології обґрунтування рішень.

Евристичні методи прийняття рішень також мають низку ефективних, перевірених практикою процедур. Особливе місце серед них займають методи колективних рішень, побудова і аналіз карти втрат, методи «за — проти» і «розумовий штурм» тощо.

Розвиток евристичних методів у напрямку алгоритмізації творчого процесу суттєво підвищує їх ефективність. Про це свідчить досвід застосування алгоритмів вирішення винахідницьких задач для вдосконалення технічних систем і процесів. Виявлення технічних суперечностей і застосування прийомів їх усунення, аналіз ресурсів простору і часу, речовини і фізичних полів можуть бути використані для вирішення винахідницьких задач.

Сукупність евристичних і аналітичних методів, процедур і прийомів обґрунтування рішень складає основу інструментарію фахівців інженерної служби, дозволяє підвищити ефективність механізованого виробництва, уникнути грубих прорахунків і нерациональних рішень.

## Лекція №3.

### АНАЛІЗ ВИРОБНИЧИХ СИТУАЦІЙ І СИСТЕМ

Питання:

1. Види аналізу ситуацій і технологічних систем.
2. Властивості аграрних систем і аналітичні показники.
3. Виробнича ситуація та управління нею.

### ВИДИ АНАЛІЗУ СИТУАЦІЙ І ТЕХНОЛОГІЧНИХ СИСТЕМ

Постановка і вирішення будь-яких виробничих задач вимагає з'ясування ситуації, що склалася, виявлення суперечностей і невідповідностей, причинно-наслідкових зв'язків. Таку інформацію одержують за результатами проведення аналізу ситуації, системи або показників її функціонування.

*Аналіз* — це метод дослідження, який полягає в умовному або практичному розчленуванні об'єкту на складові частини (ознаки, властивості тощо) і оцінки їх ролі в системі.

Об'єктами аналізу можуть бути технічні і технологічні системи, їх властивості і показники роботи, властивості і взаємодії окремих елементів, а також умови і закономірності функціонування систем. Поширені в інженерній практиці види аналізу наведені на рис. 3.1.



Рис. 3.1. Види аналізу систем

*Системний аналіз* як методологія дослідження полягає в структуризації системи, вивченні її властивостей через властивості і взаємодії елементів, внутрішні і зовнішні зв'язки. Системний аналіз передбачає вивчення властивостей окремих елементів з урахуванням їх місця і ролі в системі, бо взаємозв'язки і взаємодії елементів забезпечують нові системні властивості об'єктів. Звідси впливає важливий принцип трирівневого вивчення системи, а саме: аналіз властивостей системи; вищий рівень — функціонування системи в надсистемі (середовищі); нижчий рівень — аналіз елементів системи.

Вивчення динамічних систем може мати два аспекти — функціональний і генетичний або еволюційний.

*Функціональний аналіз* спрямований на вивчення структури і властивостей системи, закономірностей її функціонування у певних умовах. Функціональні залежності проявляються при взаємодії окремих елементів між собою, між елементами і системою в цілому, між системою і середовищем. Ці взаємодії потребують узгодження в просторі і часі як по горизонталі, тобто між складовими частинами одного ієрархічного рівня

(координація), так і по вертикалі (субординація). Субординація вказує на підпорядкованість складових системи, їх неоднакове значення для функціонування системи.

*Генетичний (еволюційний) аналіз* вивчає систему в розвитку. Кожна технічна чи технологічна система проходить певні етапи життєвого циклу. Ретроспективний аналіз дозволяє з'ясувати причини і передумови становлення саме такого вигляду і стану системи, що дає важливу інформацію для визначення напрямків удосконалення, тобто перспективного розвитку системи. Це особливо важливо в умовах інтенсивного технологічного прогресу, коли настає швидке моральне старіння систем та їх елементів. Еволюційний аналіз передбачає виявлення закономірностей розвитку за історичними умовами.

Так, система машин для сільського господарств склалася під визначальним впливом колективізації виробництва. Становлення різних форм власності на землю і засоби виробництва вимагає відповідних змін у структурі системи машин.

За метою і змістом аналіз може бути комплексним або мати вузьке спрямування.

*Інженерний аналіз* спрямований на вивчення властивостей технічних систем і закономірностей їх функціонування. Його об'єктами стосовно до специфіки машиновикористання є конструкція машин, їх надійність, агротехнологічні, маневрові і енергетичні властивості, показники роботи та інше. На основі інженерного аналізу здійснюється удосконалення конструкції технічних засобів, їх технічного і технологічного обслуговування, усунення несприятливих відхилень у ході виробничих процесів, узгодження параметрів і режимів роботи машин.

*Економічний аналіз* спрямований на вивчення економічних показників ТС і ТхС (експлуатаційні витрати, собівартість робіт, термін окупності систем, ціноутворення, тощо).

У зв'язку з тим, що економічні показники виробничих систем тісно пов'язані з структурою і параметрами технічних складових, технологією і організацією процесів, соціально-економічними факторами виникає необхідність проведення комплексного *техніко-економічного аналізу*. В умовах ринкових відносин і економічного механізму господарювання роль техніко-економічного аналізу значно зростає, бо він дозволяє виявити ефективність реалізації нових систем, виявити резерви виробництва, визначити напрямки удосконалення технічних і виробничих систем.

*Функціонально-вартісний аналіз (ФВА)* є технологією комплексного системного дослідження функцій спрямований на забезпечення необхідних споживацьких властивостей об'єктів з мінімально можливими затратами ресурсів.

Об'єктами техніко-економічного і функціонально-вартісного аналізу можуть бути ТС і ТхС, технології, а також їх окремі елементи, організаційні та інформаційні структури. Ці два види аналізу за своєю суттю є технологіями обґрунтування рішень, які вбирають в себе певний арсенал методів і прийомів аналізу.

*Екологічний аналіз* стосовно до умов сільськогосподарського виробництва розвинутий ще недостатньо, незважаючи на гостроту і актуальність екологічних проблем. Аграрні ТС і ТхС безпосередньо впливають на природне середовище, є причиною порушення біоценозів, машинної деградації ґрунтів, забруднення довкілля, тощо. Тому важливо сформулювати систему показників оцінки екологічних властивостей-техніки і технологій.

В основі аналізу систем лежить їх структуризація, тобто встановлення меж системи і середовища (надсистеми), виділення складових частин на різних ієрархічних рівнях та зв'язків між ними.

*Глибина структуризації системи* визначається кількістю ієрархічних рівнів і здатністю до розчленування елементів нижнього рівня. Якщо ці елементи не піддаються подальшій деталізації, то структуризація проведена до граничної глибини.

Наприклад, при аналізі системи машиновикористання структуризація може бути здійснена до окремих машин, функціональних блоків або узлів, деталей. Структуризація до окремих деталей характеризує граничну глибину. Поняття граничної структуризації

до певної міри умовне. Так, з функціональної точки зору кульковий підшипник можна розглядати як неподільний елемент конструкції. З іншого боку, навіть на окремі деталі можна виділити зони концентрації напружень або «слабкі» місця, які впливають на надійність деталі і машини в цілому. За глибиною і масштабом структуризації розрізняють макро- і мікроаналіз.

При *макроаналізі* (макропідході) об'єкт аналізу вивчають неначе ззовні, без деталізації його внутрішніх зв'язків і взаємодій. У цьому випадку встановлюють загальні тенденції розвитку систем, узагальнені показники і закономірності функціонування.

При *мікроаналізі* (мікропідході) вивчається внутрішня структура об'єкту, властивості і взаємозв'язки окремих елементів, фактори, що впливають на часткові і загальні показники функціонування системи. При цьому структуризація здійснюється до елементарного рівня.

Таблиця 3.1

Приклади задач аналізу з різною глибиною структуризації

Об'єкт аналізу	Задачі аналізу	
	Макропідхід	Мікропідхід
Технічна система (МТП, виробничі об'єкти, машини)	З'ясування тенденцій розвитку. Оцінка технічного рівня Встановлення загальних закономірностей. Оцінка відповідності параметрів системи реальним умовам.	Аналіз структури і властивостей систем, внутрішніх зв'язків і суперечностей. Виявлення факторів, що впливають на хід процесів, несправностей та їх причин.
Технологія	Порівняння технологій за узагальненими показниками. Оцінка відповідності комплексу машин вимогам технології	Дотримання агрономічних до операцій. Встановлення структури експлуатаційних затрат, показників екологічності, резервів вдосконалення.
Виробничий процес, операція	Оцінка рівня механізації і організації робіт відповідно до вимог і умов	Аналіз ритмічності і узгодженості операцій; виявлення резервів підвищення ефективності праці, зниження втрат часу і продукції
Виробнича ситуація	Загальна оцінка ситуації і можливостей керування нею	Аналіз причинно-наслідкових зв'язків, встановлення керованих факторів і вибір засобів впливу на ситуацію
Інформація	Встановлення загальних закономірностей і потоків інформації	Оцінка повноти та якості інформації, ефективності її використання
Рішення	Оцінка відповідності результатів рішення до поставленої мети	Встановлення критеріїв, аналіз і оцінка альтернатив, можливих результатів

Макро- і мікроаналіз можуть бути етапами дослідження і вдосконалення систем. На рівні господарства мікропідхід є основним інструментом вияву резервів виробництва. Ступінь деталізації при аналізі залежить також від виробничої ситуації та рівня організації робіт. Якщо мають місце явні упущення і втрати, то резерви вдосконалення виробництва можуть бути встановлені порівняно простими методами аналізу на макро- рівні. Варто пам'ятати, що усунення втрат — першочергова задача аналізу вдосконалення виробництва.



## ВЛАСТИВОСТІ АГРАРНИХ СИСТЕМ І АНАЛІТИЧНІ ПОКАЗНИКИ

Математичне моделювання та аналіз технічних систем і виробничих процесів полягає у встановленні взаємозв'язків і закономірностей між різного роду величинами, що впливають на їх властивості, і результатами функціонування систем.

*Властивістю* є кожна істотна ознака об'єкта. Властивості можуть бути виражені певними числовими характеристиками (маса, продуктивність, потужність) або мати лише якісну оцінку (форма, естетичні властивості, колір).

*Показник* — це кількісний вираз властивостей об'єкта. Числові значення показників дозволяють оцінювати хід виробничого процесу (продуктивність, робоча швидкість), порівнювати між собою різні МТА (енергонасиченість, вартість).

Так, аеродинамічні властивості автомобіля залежать від його форми, але форма не може бути показником, бо не має кількісного виразу. Показником буде коефіцієнт обтічності автомобіля.

*Параметр* — відносно постійний показник, що характеризує істотні властивості системи або хід виробничого процесу. Параметри дозволяють оцінити відмінності між однотипними машинами (наприклад, ширина захвату машини, енергонасиченість, вантажопідйомність), а також стабільність протікання процесів (тиск у гідравлічній комунікації обприскувача).

На практиці параметри можуть дещо змінювати своє значення.

Так, параметри технічного стану машин змінюють свою величину в міру спрацювання деталей протягом строку служби.

*Фактор* — носій впливу на систему, який спричиняє до зміни її показників. У математичних моделях фактори впливають на числові значення змінних величин.

Фактори можуть бути характеристиками зовнішнього середовища або надсистеми (метеорологічні фактори, фізикомеханічні властивості ґрунтів, рельєф тощо), а також параметрами самої системи (конструктивні фактори) або характеристиками її функціонування (режим роботи).

*Аналітичні показники* — це науково-обґрунтована сукупність показників, яка характеризує рівень і ефективність систем або виробничих процесів. Використання великої кількості показників для моделювання і аналізу виробничих процесів істотно ускладнює задачу. Тому прагнуть до відбору таких аналітичних показників, які мають комплексні властивості. Наприклад, продуктивність праці, собівартість продукції, коефіцієнт енергетичної ефективності технологій є комплексними показниками механізованого сільськогосподарського виробництва, бо залежать від сукупності факторів, що характеризують рівень систем і процесів (технічний, агротехнічний, організаційний) та зовнішні умови (природно-виробничі, ресурсні та ін.).

При оцінці якості сільськогосподарської техніки найбільш важливі показники об'єднані в наступні групи.

Показники призначення характеризують ті властивості техніки, які забезпечують виконання основних її функцій і є важливими у сфері використання техніки. В цю групу входять показники продуктивності машин, ширини захвату і діапазону робочих швидкостей, потужності, маневреності і прохідності, а також агротехнологічні показники, що визначають якість виконання технологічних операцій.

*Економічні показники* характеризують рівень використання виробничих ресурсів (палива, енергії, технологічних матеріалів), собівартість і економічну ефективність використання техніки.

*Показники надійності машин* включають їх безвідмовність, довговічність, строк служби, коефіцієнт готовності, збереження і ремонтпридатність.

*Екологічні властивості* характеризують тиск ходових систем машин на ґрунт (ущільнення ґрунту), забруднення середовища, повноту використання непоновлюваних ресурсів.

*Ергономічні показники*, що висвітлюють взаємодію «людина — машина»

(зручність роботи і обслуговування, умови на робочому місці, тощо).

За аналітичним виразом показники можуть бути абсолютні, питомі, відносні та у вигляді коефіцієнтів. Абсолютні показники можуть виражатись у натуральних, грошових або інших фізичних величинах. Наприклад, обсяг виробленої продукції можна виразити у натуральних одиницях (тони), грошових (гривні) або енергетичних (МДж) еквівалентах.

Питомі показники визначають як відношення натурального показника до характерних параметрів системи або виробничого процесу. Наприклад, питомий опір сільськогосподарських машин визначають як відношення опору машини до ширини захвату (кН/м). Питома ефективна витрата палива — це витрата палива на одиницю ефективної потужності за одиницю часу (г/кВт • год).

Відносні показники визначаються як відношення різниці однорідних показників до характерного значення показника, що має таку ж розмірність.

Відносні показники можуть мати вигляд:

$$f_1(x) = \frac{x_{\max} - x_{\min}}{x_0}, \quad (2.1)$$

$$f_2(x) = \frac{x_0 - x_i}{x_0} = 1 - \frac{x_i}{x_0}, \quad (2.2)$$

$df(x)$  — відносний показник як функція абсолютного показника  $x$ ;

$x_{\min}$ ,  $x_{\max}$ ,  $x_0$ ,  $x_i$  — відповідно, мінімальне, максимальне, характерне та  $i$ -те значення параметра  $x$ .

Так, нерівномірність тягового опору МТА визначається відносним показником:

$$\delta_R = \frac{R_{\max} - R_{\min}}{R_c}, \quad (2.3)$$

$\sum \delta_R$  — ступінь нерівномірності тягового опору;

$R_{\max}$ ,  $R_{\min}$ ,  $R_c$  — відповідно максимальне, мінімальне і середнє значення опору МТА.

Втрати швидкості внаслідок буксування:

$$\delta_\sigma = \frac{V_T - V_P}{V_T} = 1 - \frac{V_P}{V_T}, \quad (2.4)$$

$\sum \delta_\sigma$  — ступінь буксування;

$V_P$  і  $V_T$  — теоретична і фактична робочі швидкості.

Відносні показники можуть бути виражені також у вигляді коефіцієнтів, тобто відношення двох абсолютних показників однакової розмірності. Так, відношення  $V_P / V_T$  у формулі 2.4 є коефіцієнтом використання швидкості руху МТА. Коефіцієнти і відносні показники, як правило, є безрозмірними величинами.

Залежно від цілі аналізу можуть використовуватись різні форми аналітичних показників. Основними вимогами до їх формування є інформативність інформативність і зв'язок з ефективністю технічних і технологічних систем.

У зв'язку з тим, що аналіз систем і виробничих процесів проводиться в більшості випадків з метою вдосконалення виробництва, важливо розрізняти керовані і некеровані фактори. Цілеспрямованою зміною значення керованих факторів ОПР може впливати на хід виробничих процесів і показники ефективності функціонування систем.

## ВИРОБНИЧА СИТУАЦІЯ ТА УПРАВЛІННЯ НЕЮ

Виробнича ситуація означає зафіксований на певний момент часу стан системи і умов її функціонування. Технологічна система як система-процес включає виробничий персонал, технічні засоби, ресурси, інформацію, предмет праці і зовнішні умови. У формалізованому вигляді виробничу ситуацію можна виразити кортежем множин, тобто

$$BC = (L, I, M, P, \Pi, X), \quad (2.5)$$

де **BC** — виробнича ситуація;

**L** — множина людей, зайнятих у технологічному процесі системи;

**I** — інформація (виробничі цілі, технологічний і експлуатаційний регламенти, екологічні вимоги, техніка безпеки);

**M** — множина технічних засобів системи;

**P** — матеріальні ресурси системи (енергетичні, технологічні);

**Π** — предмети праці (операнди);

**X** — зовнішні умови, що суттєві для досягнення виробничої мети.

Кожна складова (2.5) характеризується кількісними і якісними властивостями, а також рівнем використання.

Праця людей (**L**) кількісно характеризується наявністю трудових ресурсів, їх структурою. Якісні властивості виробничого персоналу оцінюють за кваліфікацією механізаторських кадрів, виробничою дисципліною. Рівень використання трудових ресурсів пов'язаний з організацією праці.

В інформаційній складовій (**I**) важливу роль має формулювання виробничих цілей. Цілі потрібно оцінювати стосовно їх відповідності (адекватності) до реальних виробничих потреб, бо нерідко вольові чинники призводять до необґрунтованих цілей і помилкових рішень.

У виробничій ситуації інформаційна складова містить дані про технологію і правила проведення робіт, оцінку їх якості, вимоги щодо безпеки праці та охорони довкілля. Кількісно інформація характеризується її достатністю для ефективного функціонування конкретної системи в конкретних умовах. Якість інформації залежить від її достовірності, а рівень використання — від своєчасності доведення до виконавців і дотриманням ними вимог.

У механізованому аграрному виробництві знаряддями праці (**M**) є машини, виробниче обладнання і прилади, технологічні лінії. Їх також оцінюють за кількісною достатністю. Якісні властивості можна оцінити технічним рівнем і станом, надійністю, тощо. Від рівня використання потенційних можливостей техніки залежать виробничі показники технологічної системи у цілому.

Матеріальні ресурси (**P**) включають забезпечення ТхС паливом, електричною і тепловою енергією, технологічними матеріалами (насіння, добрива, пестициди, корми для тварин, тощо). Кожен вид необхідних для ефективної роботи ТхС ресурсів може бути оцінений їх кількістю, якістю і рівнем використання.

Варто зазначити, що у вираз (2.5) не ввійшли фінансові ресурси, бо від їх наявності залежить кількість і якість усіх інших трудових, технічних і матеріальних ресурсів.

Предметами праці (**Π**) виступають об'єкти, зміна властивостей яких є виробничою метою. Так, предметом праці при виконанні технологічної операції оранки є поле, а для ремонтної бригади предметом праці будуть технічні засоби, що підлягають ремонту.

Предмети праці також можуть бути оцінені кількісними (обсяг робіт) і якісними характеристиками (трудомісткість, складність).

До складу виробничої ситуації включаються лише ті зовнішні умови (**X**), які суттєво впливають на технологічну систему і досягнення виробничих цілей. Для ТхС землеробства це, насамперед, характеристики польових і погодних умов, відстані переїздів, тощо.

Аналіз виробничої ситуації дозволяє конкретизувати складові за мірою їх впливу на хід процесів, встановити фактори, за допомогою яких можна керувати виробничою ситуацією, запобігати несприятливим відхиленням у досягненні мети.

Важливо розуміти, що на досягнення виробничих цілей можуть впливати не лише окремі складові виробничої ситуації, але й їх взаємодії. Згідно з комбінаторикою кількість  $g$ -поєднань із  $n$  елементів визначається формуло

$$C(n, r) = \sum_r^n \frac{n!}{r!(n-r)!}$$

Для виразу (2.1)  $n = 6$ ,  $z = 1, 2, \dots, 6$ , а загальне число поєднань становить  $C(n, z) = 63$ . Таку велику кількість взаємодій можна проаналізувати з використанням комп'ютерних програм, але для оцінки виробничої ситуації найбільший практичний інтерес мають окремі складові (2.5) та їх парні поєднання. Для цього зручно використовувати матрицю зв'язків, схема побудови якої наведена на рис. 3.2. За даною схемою деталізуються елементи кожної з множин і в чарунках взаємозв'язків графічно кодується інформація за принципом двійкових змінних «так» — «ні» (рис. 3.2 б, табл. 3.2). Графічне кодування здійснюється за допомогою наявності чи відсутності певного умовного знаку (УЗ). У нашому прикладі таких умовних знаків є 5 (відрізки АО, БО, СО, ВО і точка О).

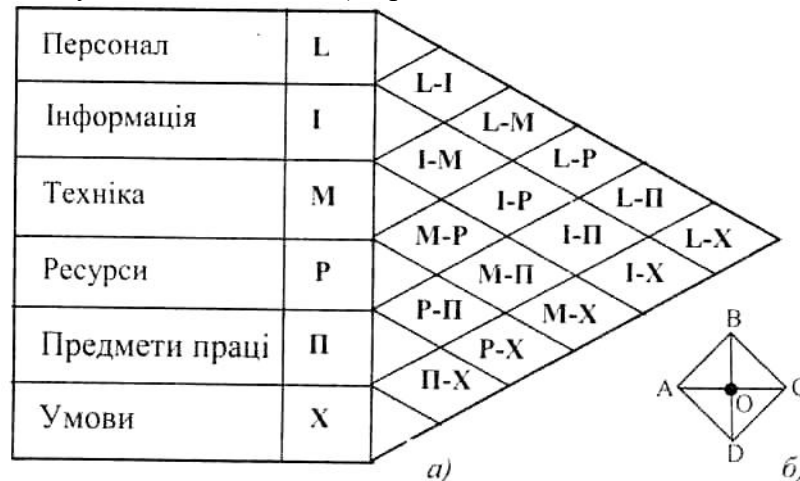


Рис. 3.2. Схема матриці зв'язків між факторами, що впливають на виробничу ситуацію (а) і графічного кодування чарунок (б)

Умовні позначення згідно з таблицею 3.2.

Таблиця 3.2

Кодування комірок матриці зв'язків (рис. 3.2 б)

Характер інформації	Умовний знак(УЗ)	Характер зв'язку при	
		наявності УЗ	відсутності УЗ
Наявність зв'язку	АО	є	нема
Значущість зв'язку	СО	важливий	слабкий
Керованість	ВО	керований	некерований
Контроль стану	ОО	контрольований	неконтрольований
Використання в керуванні процесом	Точка 0	використовується	не використовується

Зокрема, матрицю зв'язків доцільно використовувати для оцінки важливості окремих елементів та відбору чинників для керування ситуацією.

**Приклад:** Потрібно забезпечити своєчасність проведення сівби зернових культур (мета) і встановити ключові фактори, за допомогою яких буде втілюватися виробнича стратегія та контроль ситуації.

Отже, виробничою метою  $I_1$  є виконання заданого обсягу робіт у встановлені строки. Для досягнення мети у складовій «людина» —  $L$  потрібно забезпечити необхідний склад виробничого персоналу, стимули щодо виконання персоналом поставлених завдань  $L_1$ , доведення до виконавців правил і умов проведення робіт  $L_2, L_3$ .

Склад технічних засобів  $M$  і потребу в ресурсах  $P$  потрібно

проаналізувати у всіх підсистемах згідно із структурною схемою ТхС (див. рис. 3.1). Зокрема, в основній виробничій підсистемі потрібно забезпечити відповідну кількість і склад машинних агрегатів  $M_1$  взаємодії основних і допоміжних агрегатів  $M_2$ , надійність техніки  $M_3$ . Ці ж вимоги стосуються й підсистем технологічного забезпечення та технічного обслуговування.

В підсистемі управління, крім технічних засобів зв'язку, контролю, накопичення та обробки інформації важливе значення має також наявність та якість необхідної інформації  $I$ , своєчасне доведення її до персоналу.

Властивості предмета праці ( $L$ ) також можуть суттєво вплинути на своєчасність та якість механізованих робіт. До керованих властивостей відноситься підготовка ґрунту до сівби ( $L_1$ ) і поля ( $L_2$ ) до проведення технологічної операції (розмітка загінок, перших проходів, поворотних смуг, встановлення місць заправки посівних агрегатів насінням і добривами). Перелік факторів можна видозмінювати і розширювати залежно від мети і конкретних виробничих умов.

Далі будують поле взаємозв'язків між факторами (рис. 3.3). Аналізуючи чарунки взаємозв'язків між окремими парами факторів, встановлюють характер зв'язків і кодують їх згідно з правилами табл. 3.2. Відбір факторів управління процесом та його контролювання здійснюється ОНР на підставі індивідуальної або групової експертизи.

В наведеному прикладі ОНР для управління своєчасністю робіт прийняв фактори стимулювання праці та забезпечення надійності техніки, забезпечення ТхС необхідними ресурсами, організацію взаємодії технічних засобів у технологічному процесі. Контролюється підбір виконавців, склад і режим роботи технічних засобів, підготовка поля до проведення робіт.

Побудова та аналіз матриці взаємозв'язків формує системне уявлення про ситуацію і дозволяє передбачати можливі несприятливі відхилення у ході виробничих процесів.

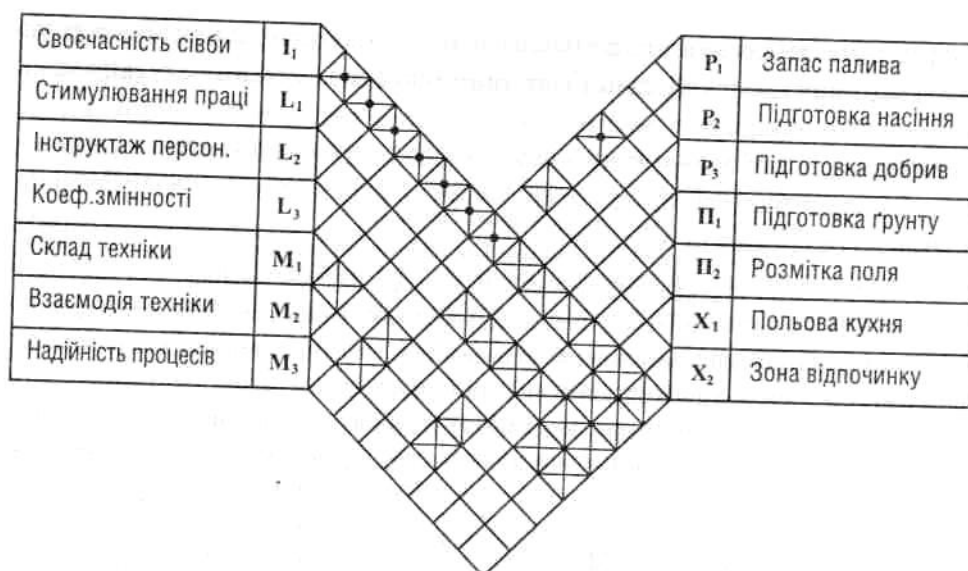


Рис. 3.3. Фрагмент матриці зв'язків при організації процесу сівби зернових культур. Кодування чарунок згідно з табл. 3.2.

### АНАЛІЗ ПРИЧИННО-НАСЛІДКОВИХ ЗВ'ЯЗКІВ

Питання:

4. Аналіз причинно-наслідкових зв'язків.
5. Аналіз і оцінка втрат ресурсів і продукції.
6. Структурний аналіз аграрних технологічних систем.

### АНАЛІЗ ПРИЧИННО-НАСЛІДКОВИХ ЗВ'ЯЗКІВ

У практичній діяльності часто доводиться аналізувати ситуації, що пов'язані з порушенням технологічного процесу, перевитратою ресурсів, невиконанням поставлених завдань. Причини цих порушень не завжди очевидні. Вони можуть бути наслідком сукупності причин різного характеру. Для виявлення причин доцільно будувати причинно-наслідкові ланцюжки (ПНЛ), застосовуючи методи детермінованої логіки. Суть таких методів полягає у постановці тестових запитань до окремих ознак ситуації і відповідей на них. Тестове запитання «чому виникла дана ознака?» ставиться до конкретного елемента ситуації, а відповіді на нього формулюються справа за схемою, що наведена на рис 2 4. Де галізація причин здійснюється до встановлення всіх елементарних (кінцевих) причин, які не потребують додаткового пояснення. Формування ознак ситуації здійснюється для усіх складових. В протилежному напрямку - від кінцевих причин до основної ознаки - здійснюється перевірка побудови за допомогою запитання «що викликала дана причина?» (рис. 4.1).

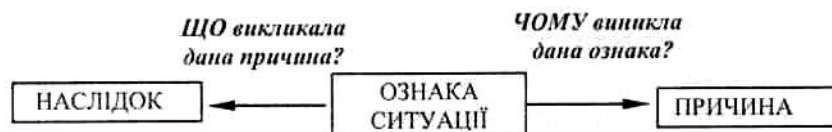


Рис. 4.1. Схема постановки тестових запитань при побудові причинно-наслідкового ланцюжка (ПНЛ).

Правила побудови причинно-наслідкових ланцюжків:

1. Формулюється загальна характеристика ситуації (ВС).
2. Формулюється основна ознака ситуації як відповідь на запитання «чому виникла дана ситуація?».
3. Здійснюється перший рівень деталізації головної ознаки, на якому причини її виникнення формулюються як відповіді на запитання «чому?». Пошук причин здійснюється в кожному елементі множин складових виробничої ситуації:

$$L = \{l_j\}, j = 1, \dots, l; I = \{a_j\}, j = 1, \dots, a; M = \{m_j\}, j = 1, \dots, m; P = \{p_j\}, j = 1, \dots, p;$$

$$\Pi = \{\pi_j\}, j = 1, \dots, n; X = \{x_j\}, j = 1, \dots, x;$$

де  $l_j, a_j, m_j, p_j, \pi_j, x_j$  — причини, що зумовлюють появу ознак ситуації і відносяться, відповідно, до праці людей, інформації, технічних засобів, ресурсів, предметів праці, умов.

Причини, що однозначно характеризують вплив на ознаку ситуації і не потребують подальшої деталізації є кінцевими (елементарними) і виділяються рамкою.

4. Проводиться другий рівень деталізації, тих ознак ситуації першого рівня, що не виділені як кінцеві причини. Аналізують парні взаємодії елементів ситуації, тобто:

$$l_j = \{ l_i l_j, l_j a_j, l_j m_j, l_j p_j, l_j \pi_j, l_j x_j \};$$

$$a_j = \{ a_i a_j, a_j m_j, a_j p_j, a_j \pi_j, a_j x_j \};$$

$$m_j = \{ m_i m_j, m_j p_j, m_j \pi_j, m_j x_j \};$$

$$p_j = \{ p_i p_j, p_j \pi_j, p_j x_j \};$$

$$\pi_j = \{ \pi_i \pi_j, \pi_j x_j \};$$

$$x_j = \{ x_i x_j \}.$$

Аналогічно до кроку 3 виділяються кінцеві причини.

5. Якщо на кроці 4 всі причини виділені як кінцеві, то перехід на крок 7, якщо ж ні — то крок 6.

6. Проводиться третій рівень деталізації ознак, що не виділені на кроці 4 як кінцеві. Тут аналізуються потрібні взаємодії і так далі до виявлення всіх кінцевих причин за схемою рис. 4.2.

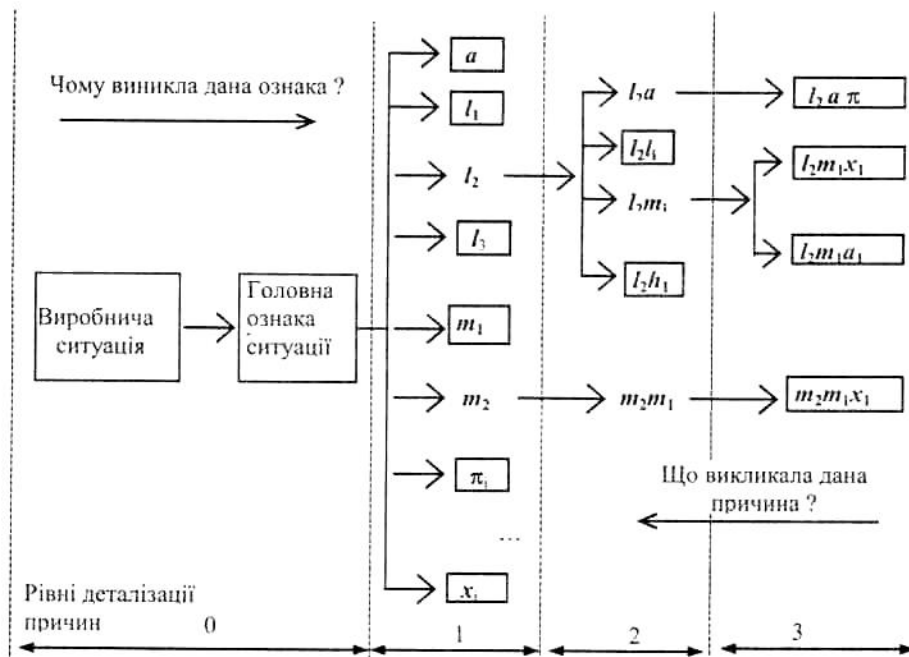


Рис. 4.2. Схема побудови причинно-наслідкового ланцюжка

7. Проводиться перевірка правильності побудови ПНЛ постановкою запитання «що викликала дана причина?». Відповідь має характеризувати наслідок.

8. Аналізуються кінцеві причини і приймається рішення щодо усунення небажаних відхилень у виробничому процесі.

При побудові причинно-наслідкових ланцюжків також важливо реалізувати системний принцип, тобто аналізувати всі складові формули та їх взаємодії.

#### Приклад:

Розглянемо ситуацію, коли порушується ритмічність процесу збирання зернових культур. Згідно з наведеним алгоритмом, встановлюємо головну ознаку ситуації (крок 2). Нею є простої комбайнів в очікуванні транспортних засобів. На запитання «чому виникла дана ознака?», встановлюємо можливі причини у кожній складовій виробничій ситуації. Зокрема, у складовій «людина» ( $L$ ), простої комбайнів можуть бути спричинені недостатньою кількістю водіїв, низькою виробничою дисципліною персоналу, низьким рівнем організації праці.

У складовій «машина» ( $M$ ) причинами можуть бути: недостатня кількість транспортних засобів, низька їх продуктивність. В складовій «ресурси» ( $P$ ) може бути недостатня кількість палива. В інформаційному забезпеченні ( $I$ ) — відсутність сигналізації про заповнення бункера і виклик транспортного засобу. Неоднорідність хлібостою (предмет праці —  $\Pi$ ) впливає на тривалість заповнення бункера та ритмічність робіт. На ритмічність можуть вплинути також умови ( $X$ ), зокрема, вологість хлібостою, рельєф поля, погода, умови на робочому місці персоналу. Завершується перший рівень деталізації причин виокремленням тих, що не потребують подальшої конкретизації (кінцевих причин). На рис. 2.6 вони окреслені прямокутником.

На наступному кроці аналізуються парні взаємодії елементів ситуації. Низький рівень організації робіт може бути пов'язаний із невідповідністю кваліфікації персоналу (взаємодія  $L-M$ ), недосконалістю графіка взаємодії технічних засобів  $M-M$ ). Низька продуктивність транспортних засобів може бути пов'язана із взаємодіями  $L-M$ ,  $M-X$  (див. рис. 4.3). На третьому рівні деталізуються потрійні взаємодії.

В наведеному прикладі це  $L-M-M$ .

За результатами аналізу кінцевих причин приймають рішення щодо удосконалення

TxC

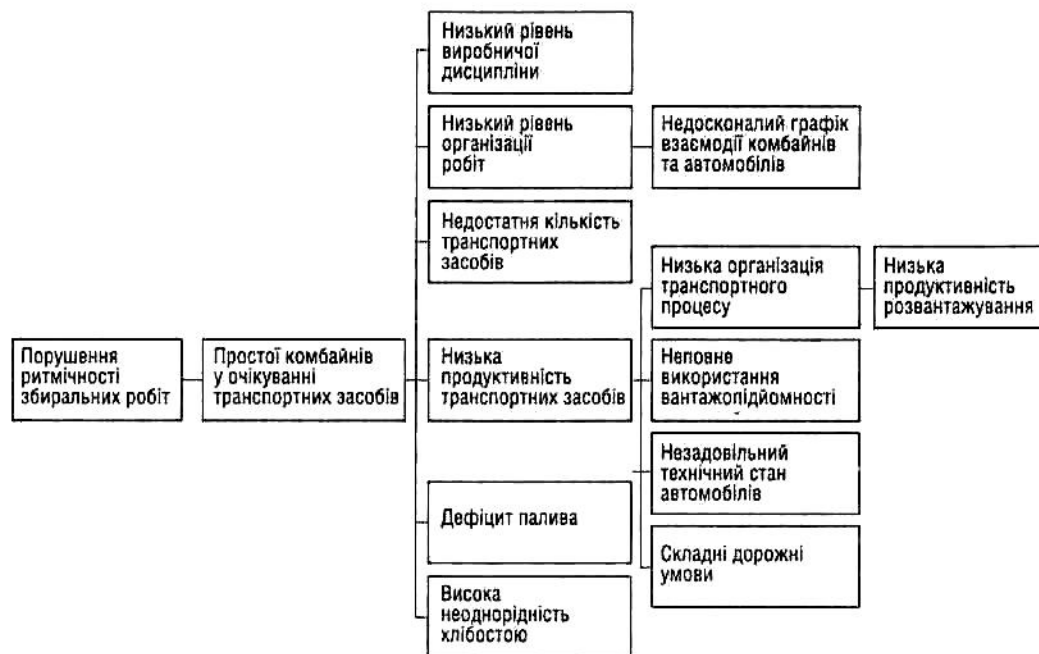


Рис. 4.3. Приклад побудови причинно-наслідкового ланцюжка для ситуації порушення ритмічності збирання зернових культур (фрагмент).

## АНАЛІЗ І ОЦІНКА ВТРАТ РЕСУРСІВ І ПРОДУКЦІЇ

Зниження втрат ресурсів і кінцевої продукції в умовах механізованого сільськогосподарського виробництва значною мірою залежить від діяльності інженерної служби. Втрати енергетичних ресурсів (палива, електричної і теплової енергії), технологічних матеріалів (насіння, добрив, пестицидів), часу як важливого непоновлюваного ресурсу виробництва, а також врожаю, продукції тваринництва і продуктів їх переробки залежать як від вибору технічних засобів і їх стану, так і від організації праці в технологічній системі. Втрати можуть бути на різних етапах технологічного процесу, а їх причини можуть критися в різних складових технологічної системи. Тому виявлення втрат потребує системного аналізу. Пошук можливих джерел втрат та їх кількісну оцінку доцільно здійснювати шляхом побудови карти втрат.

Основні правила і послідовність побудови карти втрат:

1. Формулюється ресурс, що є метою аналізу втрат.
2. Складається перелік джерел втрат за елементами ситуації (персонал  $L$ , засоби праці  $M$ , ресурси  $P$ , предмет праці  $П$ , інформація  $I$ , умови  $X$ ) в кожній структурно-функціональній складовій TxC (підсистеми: основна СВ, технологічного забезпечення СЗ, технічного обслуговування СО, управління У). Отже, буде встановлено 24 групи джерел втрат (табл. 4.1).

3. У кожній групі формулюється не менше трьох можливих причин втрат. Мінімальне число причин зумовлене характеристиками елементів ситуації: кількісними (наявність, обсяг); якісними (властивості, стан); функціональними (режим, використання). Глибина деталізації причин залежить від складності системи. Для аграрних TxC число характеристик елементів ситуації в одній групі, як правило, не перевищує 7.



4. Встановлюється 10-ти бальна шкала ознак вагомості кожної з причин, що задані списком п.2, з градацією вагомості: неістотна — 1; невелика — 2-3, середня — 4-6, значна — 7-9 і велика — 10.

5. Індивідуально або групою незалежних один від одного експертів на основі оцінки реального стану технологічної системи проставляються бали вагомості джерел втрат.

6. Проводиться аналіз результатів оцінки і розробляються пропозиції щодо усунення втрат.

Вплив окремих факторів на втрати здійснюється за значеннями бальних оцінок, а груп факторів — за середнім арифметичним у групі значенням балів вагомості, в табл. 4.1. наведена структура карти втрат з мінімальним списком причин. При вісімнадцяти групах факторів карта буде налічувати не менше 72 можливих втрат з оцінкою їх вагомості, для конкретних завдань аналізу в переліку джерел втрат можуть додатково виділятися окремі підгрупи факторів. Наприклад, у групі ресурсів можуть бути виділені енергетичні, технологічні, фінансові ресурси, ресурс часу. Перелік причин втрат також може бути розширений. Проте зміни в переліку груп і причин втрат не змінюють загальної схеми аналізу виробничих втрат.

Таблиця 4.1.

Схема побудови карти втрати

Джерела втрат	Можливі причини	Оцінки в підсистемах, балів			
		СВ	СЗ	СО	У
Виробничий персонал <b>L</b>	Достатність				
	Кваліфікація				
	Функції				
Технічні засоби <b>M</b>	Наявність				
	Стан				
	Використання				
Ресурси <b>P</b>	Наявність				
	Якість				
	Використання				
Предмети праці <b>P</b>	Обсяги робіт				
	Властивості				
	Результати				
Інформація <b>I</b>	Наявність				
	Достовірність				
	Використання				
Умови <b>X</b>	Характер				
	Рівень				
	Мінливість				

**Приклад:**

У технологічній системі процесу (ТхСП) сівби зернових з внесенням мінеральних добрив спостерігається перевитрата палива. Встановити джерела втрат шляхом побудови карти втрат та дати їх оцінку за результатами індивідуальної експертизи.

Складаємо таблицю з переліком можливих джерел втрат за основними складовими ситуації (див. табл. 4.1 колонки 1 і 2). Підсистемами ТхСП згідно з типовою схемою (див. п.1.2 і рис. 4.1) є:

- основна виробнича підсистема (СВ), яка виконує операцію сівби з внесенням добрив;
- підсистема технологічного забезпечення (СЗ), у функції якої входить підготовка насіння і добрив, їх навантаження, транспортування та завантаження в сівалки;
- підсистема технічного обслуговування (СО), яка здійснює підготовку агрегатів до роботи, заправку паливо-мастильними матеріалами, технічне обслуговування машин;
- підсистема управління (СУ) з особою, що приймає рішення, у функції якої

входить організація робіт, контроль та управління процесами, інформаційне забезпечення системи. За результатами аналізу причин втрат по кожній із підсистем експерт дає бальну оцінку їх значущості (табл. 4.2).

Таблиця 4.2

Приклад карти втрат палива при сівбі зернових

Джерела втрат		Можливі причини втрат	Оцінки в підсистемах, балів				
			СВ	СЗ	СО	У	
Виробничий персонал 1		Достатність	1	5	1	1	
		Кваліфікація	1	1	6	5	
		Функції	1	1	8	9	
Разом у складовій «персонал»			3	7	15	15	
Технічні засоби М		Наявність	1	7	7	4	
		Параметри М	1	1	1	1	
		Технічний стан	8	1	1	1	
		Використання	4	1	1	1	
Разом у складовій «технічні засоби»			14	10	10	7	
Ресурси Р	Паливо	Наявність	1	1	1	1	
		Якість	4	4	1	1	
		Зберігання	1	1	5	5	
		Використання	3	3	1	5	
	Разом у складовій «паливо»			9	9	8	12
	Мін. добрива	Наявність	1	1	1	1	
		Якість	1	6	1	5	
Використання		1	1	1	1		
Разом у складовій «мін.добрива»			3	8	3	7	
Поле підготовлене до сівби П		Розміри полів	4	1	1	1	
		Рельєф	5	1	1	1	
		Підготовка поля	3	1	1	4	
Разом у складовій «предмет праці»			12	3	3	6	
Інформація 1		Регламент робіт	5	3	7	8	
		Якість регламентів	5	3	5	8	
		Дотримання вимог	3	1	8	8	
Разом у складовій «інформація»			13	7	20	24	
Умови Х		Погодні умови	6	1	1	1	
		Умови праці	1	1	1	1	
		Мінливість умов	5	1	1	1	
Разом у складовій «умови»			12	3	3	3	

У наведеному прикладі найбільш вагомі джерела втрат палива криються в підсистемі управління. Вони стосуються функцій ОПР, інформаційного забезпечення робіт. Крім того, значний вплив на перевитрату пального має технічний стан машин і недостатній рівень технічного обслуговування, що пов'язаний з низькою кваліфікацією персоналу підсистеми СО, порушенням вимог експлуатаційного регламенту. За результатами аналізу втрат приймається рішення щодо їх усунення.

## СТРУКТУРНИЙ АНАЛІЗ АГРАРНИХ ТЕХНОЛОГІЧНИХ СИСТЕМ

Структура — це стійка впорядкованість елементів системи, а також зв'язків і відношень між ними. Динамічні технічні і технологічні системи змінюють у часі свої властивості і параметри стану. Структура ж відображає такі властивості і характеристики системи, що є незмінними на всьому проміжку її функціонування.

Хоча структура є стабільною характеристикою системи, це не виключає можливості її зміни залежно від потреби і виробничої ситуації. Така властивість характерна для гнучких технічних і виробничих систем. Зокрема, блочно-модульний принцип побудови системи машин дозволяє набору структурних блоків (модулів) формувати різноманітні агрегати залежно від виробничої необхідності.

Метою структурного аналізу є оцінка повноти складу і якості композиції технологічної системи (ТхС). Завдання аналізу:

- аналіз будови ТхС, наявності в системі необхідних структурно-функціональних

складових, внутрішніх і зовнішніх зв'язків;

- оцінка рівня розвитку окремих складових ТхС, включаючи основну виробничу складову та складові інфраструктури;

- оцінка параметричної узгодженості складових, забезпеченості технічними засобами, трудовими та іншими ресурсами;

- оцінка повноти та якості інформації, що необхідна для ефективного функціонування ТхС.

Структурний аналіз ТхС рільництва доцільно проводити за типовою схемою, що наведена в п. 1. 2 (див. рис. 4.1). При цьому потрібно розрізняти системи на рівні операції (ТхСО), процесу (ТхСП), технології (ТхСТ) і комплексу (ТхСК). Структурний аналіз конкретної технологічної системи проводять у такій послідовності:

1. Формулюють мету і призначення технологічної системи. Встановлюють початкові дані щодо обсягів робіт, вимог і умов.

2. Формулюють завдання структурного аналізу ТхС.

3. За типовою схемою ТхС (див. рис. 4.1) складають перелік структурно-функціональних складових кожної підсистеми, що необхідні для досягнення виробничих цілей.

4. Порівнюючи склад реальної ТхС із типовою структурою, оцінюють наявність у ній необхідних структурно-функціональних підсистем, внутрішніх і зовнішніх зв'язків.

5. Якщо завдання аналізу ТхС вичерпуються оцінкою структурної повноти, то приймають рішення щодо необхідності удосконалення структури системи. Якщо ж ні — крок 6.

6. Оцінюють узгодженість параметрів ТхС за матрицею (табл. 4.3). На головній діагоналі матриці вписані характеристики, за якими здійснюється узгодження елемента стрічки **p**; з елементами **p**. в колонках, узгодження проводять в такій послідовності:

6.1. виробничі цілі узгоджують з наявними засобами (**ЦR<sub>pj</sub>**);

6.2. встановлюють відповідність кількісних і якісних характеристик елементів основної виробничої складової (**O, D, M<sub>св</sub>, P, I**) до цілей, ресурсу часу, характеристик предмета праці (**П**) і умов (**X**);

6.3. узгоджують параметри складової технологічного забезпечення (**СЗ**) з основною підсистемою (**СВ**);

6.4. узгоджують параметри підсистеми технічного обслуговування з параметрами **СВ** і **СЗ**;

6.5. оцінюють наявність необхідних прямих і зворотних зв'язків підсистеми управління (**У**), засобів накопичення, обробки та передавання інформації, якості методичного, інформаційного та інструментального забезпечення прийняття рішень.

7. Приймають рішення щодо усунення структурних недоліків, параметричної неузгодженості та диспропорцій у розвитку окремих складових технологічної системи.

**Приклад структурного аналізу ТхС.** Для хімзахисту польових культур у господарстві є: обприскувачі ОП-2000-2-01, ОПШ-15-01, ПОМ-630, агрегат приготування робочих сумішей АПЖ-12, засоби для транспортування води і робочих сумішей ЗЖВ-3,2 і ЗЖВ-1,8, склад зберігання пестицидів. Для загортання гербіцидів у ґрунт використовуються культиватори УСМК-5,4 в комплексі з ПОМ-630. Річний обсяг обприскування з урахуванням кратності операцій становить  $P = 2200$  га, максимальний денний темп робіт —  $W_{Tmax} = 120$  га. Поля IV і V класу, середня відстань переїздів —  $l = 5$  км.

Завдання аналізу: дати оцінку структурної повноти та параметричної узгодженості складових ТхСП хімзахисту рослин господарства.

Достатність технічних засобів основної підсистеми (узгодження **N<sub>МСВРЦ</sub>**) встановлюють за максимальним необхідним темпом робіт та змінним виробітком

агрегатів в даних умовах. Змінна норма виробітку агрегатів з обприскувачами  $W_{змо}$  при нормі витрати робочої суміші  $H = 100 \text{ л/га}$

Таблиця 4.3.

Матриця узгодження властивостей складових частин технологічних систем

Складові ТхС	Персонал			Технічні засоби (М)				Ресурси (Ω)					Предмет праці	Умови Х
	О	О	Д	М <sub>СВ</sub>	М <sub>СЗ</sub>	М <sub>СО</sub>	Му	Р <sub>М</sub>	Р <sub>Е</sub>	І	Т	Р		
<b>ОПР</b>	<b>Ц</b>	<b>+</b>	<b>+</b>	<b>+</b>	<b>+</b>	<b>+</b>	<b>+</b>	<b>+</b>	<b>+</b>	<b>+</b>	<b>+</b>	<b>+</b>	<b>+</b>	<b>+</b>
<b>О</b>	<b>+</b>	N, Я		<b>+</b>	<b>+</b>	<b>+</b>	<b>+</b>							
<b>Д</b>	<b>+</b>	<b>+</b>	N, Я	<b>+</b>	<b>+</b>	<b>+</b>	<b>+</b>							
<b>М<sub>СВ</sub></b>	<b>+</b>	<b>+</b>	<b>+</b>	N, В				<b>+</b>	<b>+</b>		<b>+</b>	<b>+</b>	<b>+</b>	<b>+</b>
<b>М<sub>СЗ</sub></b>	<b>+</b>	<b>+</b>		<b>+</b>	N, В				<b>+</b>		<b>+</b>	<b>+</b>		<b>+</b>
<b>М<sub>СО</sub></b>	<b>+</b>	<b>+</b>		<b>+</b>	<b>+</b>	N, В			<b>+</b>		<b>+</b>	<b>+</b>		<b>+</b>
<b>Му</b>	<b>+</b>	<b>+</b>					N, В				<b>+</b>	<b>+</b>		<b>+</b>
<b>Р<sub>М</sub></b>	<b>+</b>			<b>+</b>	<b>+</b>			Q, В				<b>+</b>	<b>+</b>	<b>+</b>
<b>Р<sub>Е</sub></b>	<b>+</b>								Q, В		<b>+</b>	<b>+</b>	<b>+</b>	<b>+</b>
<b>І</b>	<b>+</b>	<b>+</b>	<b>+</b>	<b>+</b>	<b>+</b>	<b>+</b>	<b>+</b>	<b>+</b>	<b>+</b>	Q, В	<b>+</b>	<b>+</b>	<b>+</b>	<b>+</b>
<b>Т</b>	<b>+</b>										<b>Т</b>		<b>+</b>	<b>+</b>
<b>Р<sub>Ф</sub></b>	<b>+</b>											<b>Q</b>	<b>+</b>	<b>+</b>
<b>П</b>													<b>Q, В</b>	
<b>Х</b>														<b>Х<sub>t</sub></b>

**Умовні позначення:** О — оператори; Д — допоміжний персонал; М — технічні засоби підсистем;

Р<sub>М</sub>, Р<sub>Е</sub>, Р<sub>Ф</sub> — ресурси (матеріали, енергетичні, в т.ч. паливо, фінансові); І - інформація (умови, регламенти, вимоги агротехнічні, екологічні, безпеки праці); Т - ресурс часу; П - предмет праці; Х - зовнішні умови.

**Характеристики узгодження:** Ц - цілі; Я - якісні; N, Q - кількісні; В - властивості (в т.ч. параметри).

+ - узгодження за відношенням відповідності ( $p_i, R p_j$ ) елемента в рядку  $p_i$  з елементом у стовпчику  $p_j$  із заправкою агрегату в полі становить: ЮМЗ-6АЛ+ОП-2000-2-01 — 60 га; ЮМЗ-6АЛ+ОПШ-15-01 — 35 га; Т-70С+ПОМ-630 — 42 га.

$$\text{Умовою достатності основних технічних засобів } \epsilon \sum W_{змі} \geq W_{Тmax}$$

У нашому випадку  $\sum W_{змі} = 137 \text{ га}$ , що більше за  $W_{Тmax} = 120 \text{ га}$ .

Умовою узгодженості засобів за продуктивністю ( $N_{M_{СЗ}} R N_{M_{СВ}}$ ) є

$$\sum W_{z_{ij}} \cdot n_{ij} = idem,$$

де  $W_{z_{ij}}$  — годинна продуктивність  $i$ -того агрегату  $j$ -тої ланки технологічної лінії;

$n_{ij}$  — кількість  $i$ -тих агрегатів  $j$ -тої ланки лінії;  $idem$  — те ж саме.

Технологічне забезпечення обприскування здійснюють транспортні агрегати та агрегат приготування робочої суміші. Для перевірки умови узгодженості потрібно продуктивність різних за призначенням агрегатів привести до порівнянних одиниць виміру. Зокрема, продуктивність обприскувачів потрібно виразити через витрату робочої суміші (л/год):

$$W_{zv} = (W_{змо} / T_{зм}) \cdot H,$$

де  $T_{зм}$  — час нормативної зміни (для хімзахисту  $T_{зм} = 6$  год).

Тоді для ланки обприскувачів:

$$\sum W_{го} \cdot n_{io} = \left(\frac{60}{6}\right) \cdot 100 + \left(\frac{42}{6}\right) \cdot 100 = 2300 \text{ л/год}$$

для ланки приготування суміші ЮМЗ-6Л+АПЖ-12:  $W_{zn} = 12\,000 \text{ л/год}$ ; для транспортної

ланки з урахуванням переїздів ( $l = 5$  км):

$$\sum W_{zim} = \sum V_{bi} \cdot v_{mpi} / l = (3200 + 1800) \cdot 15/5 = 15\ 000 \text{ л/год};$$

Отже, ланки **СЗ** за продуктивністю значно перевищують основну ланку (агрегати для обприскування). Це означає, що основні агрегати можуть працювати безперебійно, проте параметрично ланки за продуктивністю, а також місткістю баків не узгоджені (узгодження  $\mathbf{B}_{\text{Мсз}} \mathbf{R} \mathbf{B}_{\text{Мсв}}$ ).

Аналіз стану реалізації функцій підсистеми технологічного забезпечення свідчить про відсутність деяких функцій, необхідних для якісного та безпечного проведення робіт (таблиця 4.4).

За результатом аналізу приймається рішення щодо удосконалення складу і технічних характеристик ТхС.

Таблиця 4.4

Оцінка структурної повоти складових ТхСП хімзахисту рослин

Підсистема	Функції підсистем	Стан реалізації функцій	
		Наявність засобів	Рівень засобів
Основна підсистема (СВ)	Обприскування	Достатня	Задовільний
	Внесення гербіцидів	— * —	— * —
	Загортання гербіцидів	— * —	— * —
Технологічне забезпечення (СЗ)	Зберігання хімікатів	Достатня	Задовільний
	Підготовка хімікатів	Відсутні	Незадовільний
	Видача препарату	— * —	— * —
	Підвезення води	Достатня	Задовільний
	Приготування суміші	— * —	— * —
Транспорт, сумішей	— * —	— * —	
Технічне обслуговування (СО)	Технологічна наладка	Недостатня	Незадовільний
	Техн. обслуговування	— * —	— * —
	Діагностування	— * —	— * —
	Миття після зміни	Достатня	Задовільний
	Очистка мийної рідини	Відсутня	Незадовільний
	Заправка ПММ	Достатня	Задовільний
Управління технологічними процесами (СУ)	Зберігання техніки	Достатня	Задовільний
	Регламенти робіт	Недостатня	Незадовільний
	Інформ. забезпечення	— * —	— * —
	Контроль якості	— * —	— * —
	Прийняття рішень	— * —	— * —
	Зв'язки прями. зворотні	— * —	— * —
Зв'язки з надсистемою	Достатня	Задовільний	

## Лекція №5.

### АНАЛІЗ ФУНКЦІОНАЛЬНОЇ ОРГАНІЗАЦІЇ ТЕХНОЛОГІЧНИХ СИСТЕМ

Питання:

- Аналіз функціональної організації технологічних систем.

**Функція** — це зовнішній прояв властивостей об'єкту, який зумовлений певними діями щодо перетворення вхідних впливів у вихідні результати. Сформулювати функцію можна за допомогою запитання: «Яку дію виконує об'єкт?» Функція може мати як динамічний характер, тобто бути спрямованою на виконання певної роботи, так і статичний (зберігання продукції, з'єднання елементів). Формуються функції, якщо можливо, двома словами — дієсловом та іменником («транспортувати вантажі», «завантажувати кузов»).

**Зовнішня функція** реалізується системою або її елементом при взаємодії з середовищем (надсистемою).

**Внутрішня функція** є результатом взаємодій у системі.

**Головна функція** — це зовнішня функція, яка відображає мету і призначення системи.

**Основна функція** — внутрішня функція, що забезпечує реалізацію споживчих вартостей об'єкту, його функціональну придатність. Розрізняють основні функції прийому (вводу), передачі, перетворення, зберігання, видачі речовини, енергії або інформації.

**Допоміжна функція** сприяє реалізації основних і також є внутрішньою. Наприклад, для зернової сівалки як технічної системи головною є функція «розподіляти насіння». Основними будуть функції: транспортувати насіння і добрива, дозувати подачу в розподільну систему. Допоміжними — несучі, з'єднувальні, привідні та інші.

Метою функціонального аналізу систем є оцінка рівня їх функціональної організації і втілення функцій у системі. Здійснювати такий аналіз зручно шляхом побудови функціональної моделі системи.

**Функціональна модель** — це графічне або математичне відображення впорядкованої сукупності функцій системи і зв'язків між ними. Графічне зображення ФМ може бути подане у вигляді графа (дерево функцій) або технологічного ланцюжка.

Функціональні моделі як технологічний ланцюжок зручно будувати за допомогою методу аналізу функцій FAST (Functional Analysis System Technique), використовуючи різні тестові запитання (*що? навіщо? як? коли? та ін.*). Побудова моделі

за цим методом здійснюється у такій послідовності:

1. Формулюється головна функція системи  $\Phi_0$ .
2. Формулюється основна функція, яка забезпечує виконання головної як відповідь на запитання «що необхідно для здійснення заданої (головної) функції?». На графічній моделі сформульована функція  $\Phi_i$ ,- розміщується справа від головної (рис. 5.1).

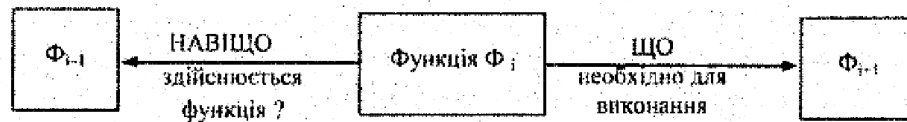


Рис. 5.1. Схема формулювання функцій за методом FAST

Аналогічно будуються всі наступні основні функції  $\Phi$  до межі, що виходить за рамки даної ТхС.

3. Виявляються допоміжні функції, що забезпечують виконання основних. На графічній моделі допоміжні функції будуються над або під основною функцією (рис. 5.2.).

4. Правильність побудови ФМ контролюється справа наліво запитанням «навіщо здійснюється дана функція?». Відповіддю є функція, що розташована зліва від тієї, що аналізується. Головні і основні функції на діаграмі типу FAST становлять критичний шлях (на рис. 5.2. виділений товстою лінією). Допоміжні функції розташовують над або під критичним шляхом.

При побудові функціональних моделей не береться до уваги конкретне втілення функцій, а лише те, що вони мають місце в системі. Це дає можливість при проектуванні ТхС розглянути альтернативні варіанти реалізації функцій.

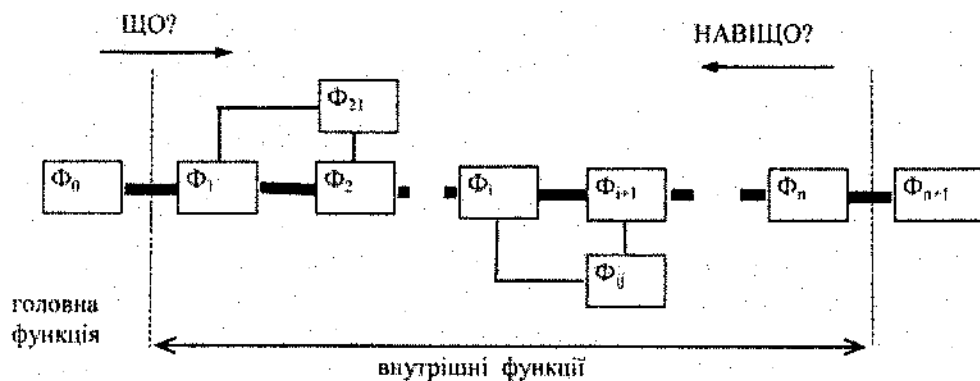


Рис. 5.2. Схема побудови функціональної моделі системи Функції:  $\Phi_0$  — головна;  $\Phi_1, \dots, \Phi_n$  — основні;  $\Phi_{21}, \Phi_{ij}$  — допоміжні

5. Встановлюються показники функціональної організації:

$$\text{коефіцієнт функціональної достатності} \quad k_{\text{д}} = N_{\text{дз}}/N_{\text{нз}} \quad (5.1)$$

$$\text{коефіцієнт функціональних можливостей} \quad k_{\text{ф}} \quad k_{\text{ф}} = N_{\text{дз}}/N_{\text{нп}} \quad (5.2)$$

$$\text{коефіцієнт актуалізації функцій} \quad k_{\text{а}} = N_{\text{н}}/N_{\text{с}} \quad (5.3)$$

$$\text{коефіцієнт функціонального втілення} \quad k_{\text{в}} = N_{\text{о}}/N_{\text{с}} \quad (5.4)$$

$$\text{коефіцієнт сумісності функцій} \quad k_{\text{с}} = 1 - N_{\text{в}}/N_{\text{с}} \quad (5.5)$$

$$\text{коефіцієнт пристосованості до умов} \quad k_{\text{н}} = r_{\text{а}}/r_{\text{в}} \quad (5.6)$$

$$\text{коефіцієнт гнучкості системи} \quad k_{\text{г}} = k_{\text{ф}} \cdot k_{\text{н}} \quad (5.7)$$

У цих формулах:  $N_{\text{рз}}$  і  $N_{\text{нз}}$  — число реалізованих у системі і необхідних користувачеві зовнішніх функцій;

$N_{\text{н}}$  і  $N_{\text{нп}}$  — число функцій, що необхідні для користувача і повного використання потенційних можливостей системи;

$N_{\text{с}}$  — число внутрішніх і зовнішніх функцій системи;

$N_{\text{о}}, N_{\text{в}}$  — число основних і узгоджувальних функцій;

$r_{\text{а}}$  — число регулювань і технологічних режимів, що забезпечують пристосованість системи до умов і вимог;

$r_{\text{в}}$  — варіативність умов, тобто число станів умов і вимог.

Кожен із показників відображає певний аспект якості ТхС, а їх аналіз дає можливість встановити напрямки удосконалення систем з метою забезпечення корисних функцій простими і ресурсощадними засобами. Так, коефіцієнт функціональної достатності  $k_{\text{д}}$  характеризує повноту реалізації необхідних користувачеві ТхС функцій. Наявність зайвих або незадіяних функцій дозволяє виявити аналіз коефіцієнта актуалізації  $k_{\text{а}}$ . Коефіцієнт функціонального втілення  $k_{\text{в}}$  наближається до 1 при зменшенні числа допоміжних функцій. Сумісність функцій буде високою ( $k_{\text{с}} \rightarrow 1$ ) при мінімальній потребі в елементах узгодження. Коефіцієнт функціональних можливостей  $k_{\text{ф}}$  характеризує здатність системи виконувати необхідні користувачеві зовнішні корисні функції, тобто її універсальність.

Для визначення коефіцієнтів (5.1-5.7) важливо встановити число функцій тієї чи іншої групи. Це означає, що потрібно розрізняти функцію з різними параметрами від різних за своїм призначенням і якісними характеристиками функцій. Таке розмежування потребує конкретизації чинників, що утворюють функцію, а також меж зміни параметрів окремої функції. Зовнішню функцію запишемо у вигляді



$$\Phi_3 = \langle D_3, P_3, Y_C, f_y \rangle, \quad (5.8)$$

а функцію узгодження як

$$f_y = \langle D_y, P_y \rangle, \quad (5.9)$$

де  $\Phi_3$  і  $f_y$  — зовнішня функція і функції узгодження;

$D_3$  і  $D_y$  — дії зовнішньої і узгоджувальних функцій, які характеризують основне призначення функцій;

$P_3$  і  $P_y$  — параметри зовнішньої та узгоджувальної функцій;

$Y_C$  — умови, в яких реалізується зовнішня функція, а також зовнішні вимоги до функції.

Для області визначення однієї функції характерні ознаки:

- незмінний зміст дії основної ( $D_3 = idem$ ) і узгоджувальних функцій ( $D_y = idem$ );
- зміна параметрів функції в межах  $P_3 \pm \square P_3$  забезпечується зміною параметрів узгоджувальних функцій  $P_y \pm \square P_y$ ;
- пристосовність функції забезпечується в межах зміни параметрів основної та узгоджувальних функцій.
- пристосовність функції забезпечується в межах зміни параметрів основної та узгоджувальних функцій.

Варіативність умов  $r_v$  залежить від зміни характеристик предметів праці, технологічних матеріалів, природно-виробничих умов, агротехнічних вимог і екологічних обмежень. Зокрема, якщо предметом праці є певна сільськогосподарська культура, то змінними характеристиками можуть бути: ширина міжрядь, фаза розвитку і відповідні геометричні розміри рослин, урожайність і т.п.

Властивості технологічних матеріалів (добрив, пестицидів, насіння) також можуть значно відрізнятися залежно від препаративної форми (рідина, порошок, гранули) та їх стану (злежані мінеральні добрива, розшаровані рідини, дражоване або недражоване насіння). У широкому діапазоні можуть змінюватися норми витрати технологічних матеріалів та інші агротехнічні вимоги, природно-виробничі умови (характеристики полів, відстані переїздів тощо).

Поєднання великої кількості змінних характеристик зумовлює варіативність умов, яку потрібно звести до дискретного ряду станів  $\{r_y^i\}$ . Дискретизацію умов доцільно здійснювати щодо конкретної ТхС з урахуванням необхідної зміни її параметрів чи режимів роботи або введення додаткових функцій у систему (подрібнення добрив, перемішування хімікатів, підготовка насіння). Якщо, наприклад, колія МТА  $B_k = 1350$  мм забезпечує роботу агрегату в міжряддях  $B_m = 450, 600$  і  $700$  мм, то в множині  $\{r_a^i\}$  даний параметр  $B_k$  виступає як одне регулювання, а в множині  $\{r_y^i\}$  наведений ряд  $b_m$  належить до однієї групи (одного стану). При потребі забезпечити рух МТА по технологічній колії

$B_k=1800$  мм, то в число умов вводиться додатковий елемент (стан), який потребує спеціального регулювання колії МТА.

Отже, сумісна оцінка функціональних можливостей і пристосовності систем дає уявлення про здатність ТхС забезпечити потреби користувачів на усій множині вимог і зовнішніх умов, або, іншими словами, характеризує гнучкість системи (5.8).

**Приклад функціонального аналізу.** Продовжимо приклад аналізу ТхС хімічного захисту рослин оцінкою рівня її функціональної організації.

На рис. 5.3 подана функціональна модель обприскування посівів, побудована за методом FAST. Доцільність проведення аналізу функцій ТхС підтвердимо наступним прикладом з реальної виробничої практики хімічного захисту рослин. На рисунку функція  $\Phi_{10}$  відповідає попередній підготовці пестицидів до видачі.

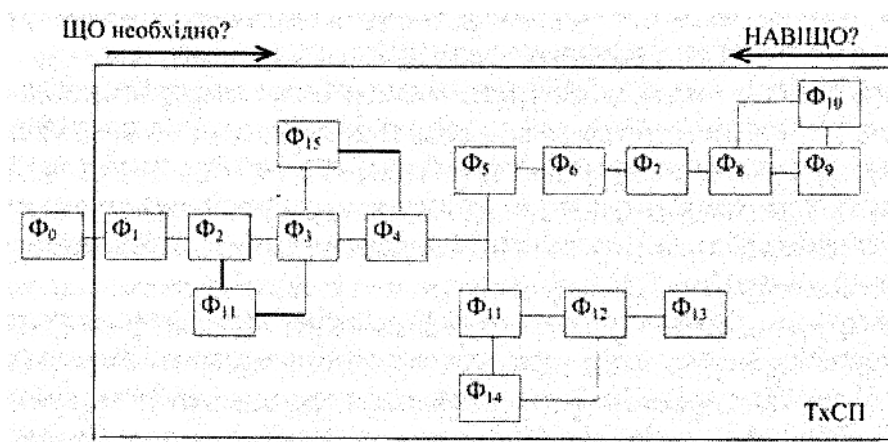


Рис. 5.3. Побудова функціональної моделі на прикладі процесу обприскування (ТхСП хімічного захисту рослин)

Позначення функцій:  $\Phi_0$ - захистити культурні рослини;  $\Phi_1$  — нанести пестициди;  $\Phi_2$  — заправити обприскувачі;  $\Phi_3$  — видати робочу суміш;  $\Phi_4$  — приготувати робочу суміш;  $\Phi_5$  — завантажити порцію пестицидів;  $\Phi_6$  — відібрати дозовану порцію пестицидів;  $\Phi_7$  — доставити пестициди до пункту приготування;  $\Phi_8$  — видати пестициди на певний обсяг робіт;  $\Phi_9$  — зберігати пестициди;  $\Phi_{10}$  — підготувати пестициди до видачі;  $\Phi_{11}$  — заправити водою засоби приготування сумішей;  $\Phi_{12}$  — доставити воду;  $\Phi_{13}$  — заправити водою транспортні засоби;  $\Phi_{14}$  — зберігати запас води;  $\Phi_{15}$  — накопичувати запас робочої суміші;  $\Phi_{16}$  — доставити робочу суміш.

У багатьох випадках рідкі препаративні форми пестицидів розшаровуються при зберіганні. Невиконання функції  $\Phi$ , яка для даного прикладу означає вирівнювання концентрації препарату перед його видачею, призводить до незворотно шкідливих наслідків, коли на одній частині поля корисні результати обробки будуть відсутні через малу концентрацію діючої речовини, а на іншій — культурні рослини пошкоджуються

через надмірну її концентрацію. Отже, внаслідок неякісного виконання лише однієї допоміжної функції технологічні цілі не будуть досягнуті, а обробіток дасть шкідливі результати як в економічному, так і в екологічному аспектах.

Аналіз функціональних моделей дозволяє визначити показники функціональної організованості ТхС (5.1 - 5.7).

Оцінимо показники основної підсистеми, в якій технологічні функції виконують агрегати з обприскувачами ОПШ-15, ОПШ-15-01 і ПОМ-630. Складемо перелік корисних зовнішніх функцій, який включає: суцільне обприскування сільськогосподарських культур, внесення гербіцидів, обробіток біопрепаратами, внесення рідких комплексних добрив, стрічкове внесення гербіцидів, смугове обприскування, суміщені обробітки пестицидами з підживленням і пестицидами з регуляторами росту (ретардантами), загортання у ґрунт пестицидів і добрив. Тобто число зовнішніх корисних функцій  $N_k = 9$ .

Режими і умови роботи агрегатів зведемо до дискретного ряду, користуючись правилами (6.8 і 6.9). Для даного прикладу ряд характерних умов і вимог включатиме 11 варіантів: малооб'ємне обприскування (50-200 л/га), звичайне обприскування (200-300 л/га), високооб'ємний обробіток (300-600 л/га); робочі суміші у формі розчину, суспензії та емульсії; предмети праці — ґрунт, просапні культури з міжряддями 0,45-0,7 м, 0,9 м і технологічною колією 1,8 м; польові сільськогосподарські культури висотою до 0,5 м і понад 0,5 м ( $r_y = 11$ ). Коефіцієнт функціональних можливостей  $k_\phi$  визначаємо за формулою (5.2), коефіцієнт пристосовності  $k_n$  — за (5.6) і гнучкості  $k_g$  — за (5.7). Показники функціональної організації ТхСО наведені в таблиці 5.1.

Зростання коефіцієнта пристосовності ТхСО на базі агрегатів з обприскувачами ОПШ-15-01 порівняно з ОПШ-15 досягається наявністю в них додаткових регулювань ширини колії та кліренсу. Це дало можливість проводити обробіток польових культур з міжряддями 0,9 м і шириною технологічної колії 1,8 м, а також висотою більше 0,5 м, що суттєво підвищило пристосовність системи до умов.

Таблиця 5.1

Показники функціональної організації ТхСО хімічного захисту і підживлення рослин

Обприскувачі	Реалізовано функцій $N_n$	Забезпечує умови $r_n$	Коефіцієнти		
			$k_\phi$	$k_n$	$k_g$
ОПШ-15	5	8	0,55	0,74	0,41
ОПШ- 15-01	5	11	0,55	1,00	0,55
ПОМ-630	8	11	0,90	1,00	0,90

Проте її гнучкість ще залишається невисокою через неможливість проведення стрічкового і смугового обприскування, підживлення і загортання пестицидів і добрив у

грунт. Технологічна система з підживлювачем-обприскувачем ПОМ-630 має високі значення коефіцієнтів функціональних можливостей і пристосовності, що наближає її гнучкість до граничного значення.

Аналогічно можна оцінити коефіцієнти організації всіх інших підсистем ТхС, а також системи в цілому.

Таким чином, коефіцієнти функціональних можливостей, пристосовності до умов і гнучкості технологічних систем повніше характеризують їх експлуатаційні властивості, дають корисну інформацію для порівняння технічних засобів і ТхС та прийняття раціональних рішень щодо гармонізації функцій у системі.

## **Лекція №6.**

### **ФУНКЦІОНАЛЬНО-ВАРТІСНИЙ АНАЛІЗ СИСТЕМ**

Питання:

- Суть і об'єкти функціонально-вартісного аналізу;
- Загальна схема проведення ФВА;
- Обґрунтування критеріїв корисності та затрат;
- Аналіз структурних і функціональних моделей.

### **СУТЬ І ОБ'ЄКТИ ФУНКЦІОНАЛЬНО-ВАРТІСНОГО АНАЛІЗУ**

Вдосконалення методів виробничої діяльності інженерів передбачає збільшення долі критеріального прийняття рішень замість випадкового і вольового.

При проектуванні та вдосконаленні технічних і виробничих систем, пошуках раціональних форм організації виробництва широко використовується функціонально-вартісний аналіз (ФВА). Він об'єднує різні методи колективного аналізу систем, творчого пошуку, оптимізації та вибору рішень.

Функціонально-вартісний аналіз базується на системному дослідженні структури функцій об'єкту, співставленні їх корисності та вартості. Метою аналізу є забезпечення необхідної корисності системи при мінімально можливих сукупних затратах. Отже, прийняття рішень при ФВА здійснюється на основі двох критеріїв — корисності та вартості (плати за корисність).

У процесі розвитку ФВА були розроблені процедури не лише аналізу, а й синтезу раціональних систем. Сформувалась методологія функціонально-вартісного проектування (ФВП). На даний час ФВА і ФВП є практично технологією обґрунтування раціональних рішень у різних сферах виробничої діяльності спеціалістів (проектування, експлуатація, організація, керування тощо).

ФВА і ФВП спирається на функціональний підхід, згідно з яким функція є первинною, а її предметне втілення — вторинним. Тобто споживачеві важлива певна зовнішня функція системи. Стосовно внутрішніх функцій, то їх важливість оцінюється стосовно забезпечення корисних властивостей системи (продуктивності, надійності, безпечності, тощо). Далі ведуться пошуки ефективного принципу реалізації цих функцій та їх предметного втілення.

При вдосконаленні технічних і технологічних систем функціональний підхід не скоує уяви ОПР (особи, що приймає рішення) конкретним матеріальним втіленням функції і відкриває можливості для прийняття принципово нових ефективних рішень.

Розглянемо приклад формулювання задачі при предметному і функціональному підходах:

Предметний підхід	Функціональний підхід
Вдосконалити сівалку СЗТ-3,6 для сівби трав зі зниженою нормою висіву насіння до 5 кг/га	Вдосконалити процес розподілу насіння трав при сівбі з нормою висіву до 5 кг/га.

У першому випадку область пошуку рішення обмежена конкретним матеріальним втіленням функції розподілу насіння (сівалка СЗТ-3,6). У другому — задана лише функція, яку необхідно реалізувати. Це дозволяє розглянути і нетрадиційні способи реалізації функції, наприклад, робочі органи тукових сівалок відцентрового типу, вентиляторні робочі органи з розсіваючим повітряним потоком та ін. Остаточне рішення приймають на основі співставлення корисності функції в тому чи іншому виконанні (наприклад, продуктивність і якість) і сукупних затрат, що необхідні на її реалізацію.

Таким чином, функціональний підхід дозволяє на етапі формування вихідних варіантів абстрагуватися від вже існуючих рішень з тим, щоб на етапі прийняття остаточного рішення вибрати найефективніший варіант. Функціональний підхід є основним принципом ФВА.

При аналізі технічних чи виробничих систем потрібно розрізняти корисні, нейтральні, надлишкові (зайві) та шкідливі функції. Таке розмежування має на меті оцінку міри корисності функцій і є важливим, бо раціоналізація виробництва передбачає оптимізацію складу функцій і мінімізацію затрат на їх реалізацію.

Об'єктами ФВА у сфері аграрного машиновикористання можуть бути: машинно-тракторний парк, технологія вирощування сільськогосподарських культур, виробничий процес, технологічна операція, машинно-тракторний агрегат, окремі технічні засоби, виробничий об'єкт, організація робіт, система керування виробничими процесами.

## ЗАГАЛЬНА СХЕМА ПРОВЕДЕННЯ ФВА

Функціонально-вартісний аналіз як системне дослідження здійснюється за певним планом, який передбачає раціональну послідовність етапів. Переважно виділяють 7 етапів проведення ФВА: підготовчий, інформаційний, аналітичний, творчий, дослідницький, рекомендаційний та етап впровадження рекомендацій.

*Підготовчий етап* включає вибір об'єкту аналізу, формування робочої групи ФВА, постановку задач і загальної мети дослідження.

*Інформаційний етап* полягає в підготовці, систематизації та аналізі інформації, що необхідна для досягнення мети. На цьому етапі здійснюють формулювання корисності та затрат, розробляють дерево цілей ФВА, задають систему критеріїв і процедури прийняття рішень.

*Аналітичний етап* передбачає проведення структурного і функціонального аналізу, побудову структурної (СМ) і функціональної (ФМ) моделей системи або об'єднаної структурно-функціональної моделі (СФМ). За результатами функціонального аналізу виявляють зайві або недостатні функції, неузгодженість характеристик функцій (наприклад, продуктивності окремих ланок технологічного процесу). Проводять аналіз затрат на виконання окремих функцій і будують функціонально-вартісні діаграми (ФВД), виявляють невідповідність між значимістю функції та затратами на її реалізацію. На цьому етапі формулюють задачі усунення суперечностей і невідповідностей.

*Творчий етап* спрямований на пошуки ефективних рішень, які дозволили б усунути суперечності і невідповідності, що були виявлені на попередніх етапах. При цьому використовують методи активізації творчого процесу для знаходження нетривіальних розв'язків поставлених завдань, формують вихідну множину альтернатив (ВМА). На цьому етапі можуть застосовуватись оптимізаційні методи, а також поєднання різноманітних методів обґрунтування раціональних рішень.

*Дослідницький етап* передбачає всебічну оцінку ВМА чи одного варіанту рішення за частковими і узагальненими критеріями, перевірку їх відповідності до існуючих вимог

і обмежень. На цьому етапі приймається рішення та розрахунок ефекту від його реалізації.

*Рекомендаційний етап* включає розробку заходів для реалізації прийнятих рішень, організаційну і технічну підготовку виробництва, стимулювання робіт і вдосконалення систем.

*Етап впровадження* — це безпосередня реалізація рекомендацій ФВА відповідно до розроблених планів.

Укрупнена блок-схема проведення ФВА стосовно до задач машиновикористання наведена на рис. 6.1.

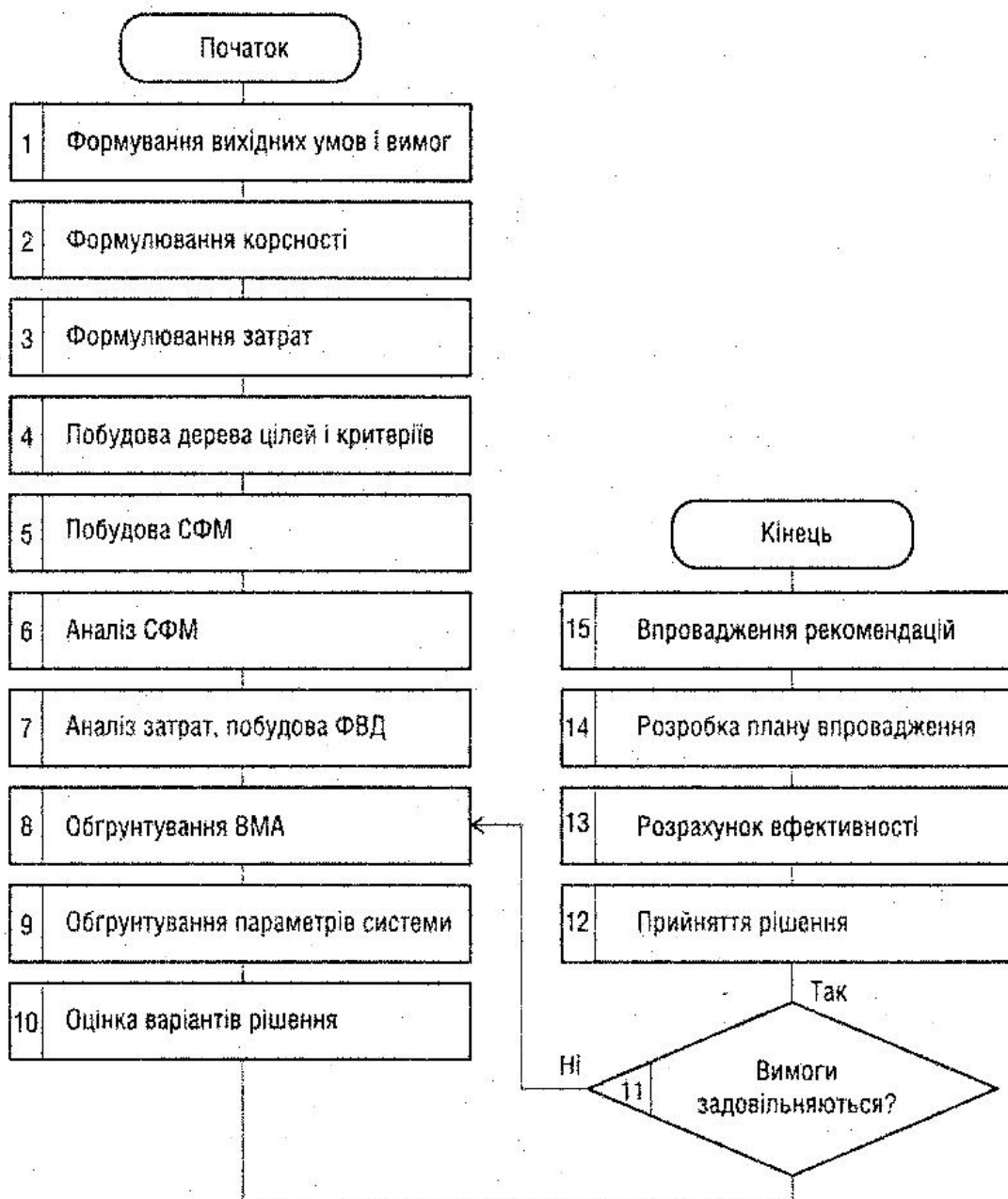


Рис. 6.1. Укрупнена блок-схема проведення ФВА

Розглянемо коротко зміст кожного з кроків даної блок-схеми.

**Крок 1.** На основі наявної і проаналізованої інформації задають вихідні дані, формулюють вимоги до функціонування об'єкту. Стосовно до аграрних ТхС це можуть бути агротехнічні, маневрові, енергетичні, екологічні та інші вимоги і обмеження.

**Крок 2.** Формулюють корисність об'єкту аналізу. Корисність системи характеризує її споживчі якості, ступінь виконання нею свого функціонального призначення. Для технічних засобів ТхС — це, насамперед, показники, що характеризують головну функцію.

**Крок 3.** Формулюють затрати, на зниження яких спрямований аналіз. Види затрат розглядаються нижче стосовно до різних об'єктів аналізу.

**Крок 4.** Здійснюють побудову дерева цілей ФВА, обґрунтування часткових і загальних критеріїв корисності і затрат. Цим кроком завершується інформаційний етап ФВА.

**Крок 5.** Здійснюється структурний і функціональний аналіз об'єкту. Будується структурно-функціональна модель (СФМ) із застосуванням методів, для побудови ФМ використовується метод FAST.

**Крок 6.** Проводять аналіз показників функціональної організації ТхС, зокрема, достатності функцій, виявлення надлишкових і шкідливих функцій, узгодженості характеристик взаємопов'язаних функцій.

**Крок 7.** Здійснюють аналіз значущості функцій та затрат на їх реалізацію, будують функціонально-вартісну діаграму (ФВД). Виявляють невідповідності між значущістю і затратами, резерви зниження затрат.

**Крок 8.** Обґрунтовують вихідну множину альтернатив (ВМА), тобто множину можливих варіантів удосконалення системи, усунення невідповідностей між значущістю функцій і затратами на її реалізацію. На даному кроці широко використовують методи вирішення творчих завдань, колективної творчості.

**Крок 9.** Обґрунтовують раціональні параметри і характеристики системи на основі моделювання її використання, вирішення оптимізаційних задач.

**Крок 10.** Проводять оцінку варіантів рішень за критеріями корисності та затрат, а також на дотримання вимог і обмежень.

**Крок 11.** Логічна операція на забезпечення вимог хоча б одним з варіантів ВМА. Якщо жоден із варіантів не задовольняє вимог, повторюють цикл від кроку 8, тобто творчий етап.

**Крок 12.** Реалізують процедури прийняття рішення щодо вдосконалення об'єкту аналізу. Переважно рішення приймається за величиною двох критеріїв — корисності та затрат. Але можливі варіанти прийняття рішення за одним критерієм або більше двох критеріїв.

**Крок 13.** Здійснюють розрахунок ефективності вибраного варіанту, яким завершується дослідницький етап ФВА.

**Крок 14.** Розробляють план впровадження рекомендацій ФВА.

**Крок 15.** Впровадження рекомендацій ФВА.

Наведена схема ФВА є лише орієнтовною, а розмежування етапів — значною мірою умовним. Творче вирішення задач ФВА необхідне практично на кожному етапі.

## ОБґРУНТУВАННЯ КРИТЕРІЇВ КОРИСНОСТІ ТА ЗАТРАТ

У зв'язку з тим, що рішення про вдосконалення об'єкту при ФВА приймається на основі співставлення корисності і затрат як для окремих функцій, так і для системи в цілому, важливо корисність і затрати виразити кількісно у вигляді критеріїв.

Поняття корисності має різні тлумачення, які характеризують результати певних функцій, рішень. Будемо розглядати корисність як прояв результатів головної функції системи, тобто її споживних вартостей. Для оцінки ролі внутрішніх функцій у реалізації системою головної функції будемо вживати термін значущість.

*Корисність системи* є мірою виконання нею свого функціонального призначення стосовно до потреб суспільства чи окремих споживачів.

*Значущість функції* — це характеристика, що відображає роль даної функції в реалізації функції більш високого структурного рівня.

Корисність системи проявляється в надсистемі, тому, перш ніж формулювати корисність, необхідно встановити границі надсистеми.

Так, корисність МТА проявляється на множині природно-виробничих умов і технологій, що й обумовлює границі надсистеми.

При обґрунтуванні узагальненого критерію корисності доцільно дотримуватись наступної послідовності:

- спершу дають словесне формулювання корисності, яке повинно розкрити основне призначення системи;
- встановлюють ті властивості системи, які найбільш суттєво підвищують її корисність;
- формулюють узагальнений критерій, що має кількісний вираз, відповідає основному призначенню системи і враховує ті основні властивості системи, які безпосередньо формують її корисність;
- встановлюють аналітичну залежність узагальненого критерію корисності від часткових;
- ті часткові критерії, що не ввійшли в аналітичний вираз узагальненого критерію, можуть бути переведені в обмеження, якщо їх величина є обов'язковою для всіх альтернативних варіантів.

Такий підхід дозволяє в багатьох випадках встановити узагальнений критерій, який має фізичний зміст і розкриває природні зв'язки корисності з параметрами системи.

Так, корисність МТА для обприскування можна сформулювати у вигляді: забезпечувати хімічний захист рослин.

Далі ставлять запитання: які властивості агрегату найбільш суттєво підвищують корисність? Очевидно, до їх числа відноситься повнота і рівномірність обробітку об'єктів захисту ( $g$ ), експлуатаційна продуктивність ( $W_{en}$ ), здатність пристосуватись до умов роботи і вимог технологій (розмір полів, рельєф, характеристики рослин, норми внесення, препаративні форми пестицидів, тощо), висока екологічність обробітку ( $E$ ). Пристосованість до умов можна виразити коефіцієнтом функціональних можливостей  $k_{\phi}$ . Ступінь нерівномірності обробітку входить в екологічність, бо впливає на величину коефіцієнту корисного використання пестицидів. Отже, узагальнений критерій корисності можна записати як:

$$Q_u = f(W_{ek}, k_{\phi}, E)$$

або в загальному вигляді

$$Q_u = f(x_i),$$

(6.1)

де  $x_i$  —  $i$ -та споживча властивість системи.

Узагальнений критерій типу (6.1) може бути встановлений на основі моделювання фізичної суті виробничого процесу і часткових показників корисності. Ця задача суттєво спрощується, якщо екологічність розглядати як обмеження. У випадках, коли зв'язки між узагальненим і частковими критеріями корисності не вдається виразити у вигляді однієї цільової функції з фізичним змістом, узагальнений критерій можна подати в адитивній формі.

При вирішенні задач машиновикористання доцільно розрізняти корисність з точки зору індивідуального споживача, серійного виробництва технічних засобів, а також систем загального призначення. Потреби індивідуальних споживачів можуть бути істотно відмінними, а відповідно і функція корисності буде різною. Корисність з точки зору проектування систем повинна враховувати запити індивідуальних споживачів і формуватись на певних статистичних усередненнях. У третьому випадку корисність може бути строго детермінованою і не залежати від суб'єктивних уподобань. Наприклад, прилади для діагностування технічного стану машин, системи грозозахисту, обладнання зони технологічної наладки машин матимуть детерміновану функцію корисності.

Затрати при ФВА виступають як плата за корисність. Узагальнений критерій затрат при проектуванні технічних чи виробничих систем враховує витрати на всіх етапах життєвого циклу системи (розробка проекту, виготовлення, експлуатація, ліквідація і утилізація системи).

Стосовно до задач аграрного машиновикористання затрати на проектування і виготовлення технічних засобів, накладні витрати входять у ціну машин. Доля



експлуатаційних витрат у цьому випадку має основне значення для прийняття раціональних рішень. Важливо зазначити, що вони інколи можуть бути в десятки раз більшими від балансової вартості машин. Так, для автомобілів за весь строк служби експлуатаційні витрати перевищують їх балансову вартість більше ніж у 30 разів.

Зниження експлуатаційних витрат є важливою народногосподарською задачею і метою ФВА. Найпоширенішими одиницями виміру затрат є грошові. Проте інколи доцільніше використовувати енергетичні еквіваленти затрат, особливо якщо в задачі ФВА входить пошук резервів ресурсозбереження і підвищення екологічності виробничих систем.

Таким чином, при проведенні ФВА важливо чітко розмежувати показники корисності і затрат, вивести відповідні часткові та узагальнені критерії. Таке розмежування має ряд переваг.

По-перше, узагальнені критерії є однорідними: корисність відображає функціональні властивості системи, затрати — вартісні.

По-друге, для корисності і затрат характерні адитивні властивості, тобто узагальнюючі показники можуть бути подані у вигляді суми часткових. Це полегшує побудову узагальнюючих критеріїв, дозволяє встановити внесок окремих факторів у корисність чи затрати (табл. 6.1).

Проте виникає питання процедури прийняття рішення за двома критеріями. У зв'язку з цим вважається правильною постановка мети ФВА в одному з двох варіантів:

- при заданій величині критерію корисності системи мінімізувати сукупні затрати (найпоширеніший варіант ФВА);
- при заданій величині сукупних затрат досягнути максимуму корисності.

Таблиця 6.1.

Приклади критеріїв корисності і затрат у задачах машиновикористання

Задача ФВА	Функція корисності	Функція затрат
Проектування нафтогосподарства	Зберігання запасу нафтопродуктів при необхідній пропускній здатності $Q_0=f(Q_p)$	Сукупні затрати на проектування $S_n$ , реалізацію $S_p$ і експлуатацію $S_e$ нафто господарства $C = S_n + S_p + S_e$
Вдосконалення структури і складу МТП	Забезпечення необхідного рівня механізації і своєчасності робіт св і екологічності : $Q_0=f(,_{св},)$	Приведені затрати коштів $S_{np} = S + eK$ , де $S$ - прямі затрати; $K$ - величина капіталовкладень; $e$ - коефіцієнт ефективності капіталовкладень.
Заміна старих технічних засобів новими	Підвищення продуктивності праці $W_{ек}$ пристосовності до конкретних умов $k_{\phi}$ і екологічності : $Q_0=f(W_{ек}, k_{\phi},)$	Приведені затрати $S_{np} = S + eK$

У такій постановці мети один з критеріїв виступає як обмеження і задача зводиться до однокритеріальної. Все ж у багатьох випадках можливі такі рішення, які дозволяють одночасно підвищити корисність системи і знизити сукупні затрати. Крім того, існують ефективні процедури прийняття рішень за декількома критеріями, які розглядаються в наступних розділах.

Після встановлення часткових і узагальнених критеріїв будують дерево цілей ФВА.

## АНАЛІЗ СТРУКТУРНИХ І ФУНКЦІОНАЛЬНИХ МОДЕЛЕЙ

Функціональні моделі можуть мати ієрархічну структуру або бути поданими у вигляді технологічного ланцюжка. Останню зручно будувати з використанням методу FAST.

Наступний аналіз моделей включає оцінку функціональної організованості систем, корисності окремих функцій і затрат на їх реалізацію, побудову ФВД і виявлення резервів скорочення затрат.

Функціональна організованість систем базується на таких принципах:

- функціональна достатність, тобто наявність всіх необхідних корисних функцій системи (коефіцієнт  $k_d$ , формула 5.1);
- доцільність функцій, тобто використання наявних функцій системи відповідно до їх функціонального призначення ( $k_a$ , формула 5.3);
- спрямованість функцій на досягнення цілей призначення системи ( $k_f$ , формула 5.2.);
- сумісність функцій і їх властивостей ( $k_c$ , формула 5.5);
- функціональна гнучкість системи, тобто здатність пристосуватись до різних умов і вимог ( $k_z$ , формула 5.7).

Числові значення наведених коефіцієнтів характеризують якість технічної чи виробничої системи, дають можливість виявити резерви зниження затрат або підвищення корисності.

Так, відсутність деяких корисних функцій знижує величину коефіцієнта  $k_f$  і може впливати на корисність системи в цілому. Наприклад, аналіз структурної моделі технологічної системи хімічного захисту рослин (табл. 5.1) свідчить про відсутність або низьку якість реалізації багатьох функцій попереднього приготування, відбору і дозованої видачі пестицидів зі складу, що знижує корисність ТхСП у цілому і збільшує затрати на виконання робіт.

Коефіцієнт функціональних можливостей окремого технічного засобу може досягатися як змінними робочими органами, так і регулюванням технологічних режимів. Якщо ж окремі змінні робочі органи в умовах конкретного господарства не використовуються, то це знижує коефіцієнт актуалізації функцій  $k_a$ .

Зменшення кількості функцій (допоміжних, узгодження, зайвих) підвищує величину коефіцієнтів  $k_a$ ,  $k_c$  і якість системи в цілому. Коефіцієнт функціональної гнучкості  $k_z$  є показником універсальності системи (див. приклад табл. 5.1). Він часто безпосередньо входить в аналітичний вираз узагальненого критерію корисності.

При оцінці зовнішніх корисних функцій, які визначають споживні властивості системи, важливо встановити не лише їх кількість, але й значущість. Для цього використовують методи і прийоми експертної оцінки значущості функцій.

Отже, наведені методи дають можливість не тільки встановити місце функції в ранжирному ряду, але й її ваговий коефіцієнт. Це важливо при комплексній оцінці багатофункціональної системи.

Показник типу (6.1) може виступати як узагальнений критерій корисності, якщо встановлення його аналітичного виразу з відображенням фізичної сутності є утруднене. Визначення затрат на реалізацію функцій здійснюється, починаючи з нижнього рівня СФМ.

Затрати на функцію, що стоїть на вищих рівнях ієрархії СФМ визначають додаванням затрат на функції, які структурно їй підпорядковані.

## ПОБУДОВА ФУНКЦІОНАЛЬНО-ВАРТІСНИХ ДІАГРАМ

Специфічною процедурою функціонально-вартісного аналізу є побудова функціонально-вартісних діаграм (ФВД), які є графічним зображенням співвідношення між значущістю функцій і затратами на їх реалізацію. Побудова ФВД здійснюється з метою виявлення невідповідності затрат у відношенні до корисності функції. ФВД

будуються для групи функцій, що мають спільну вершину. В першому квадранті зображується корисність або значущість функцій, у другому — відносні затрати на функції (рис. 6.2).

Для одержання нормованих значень корисності або затрат користуються формулами:

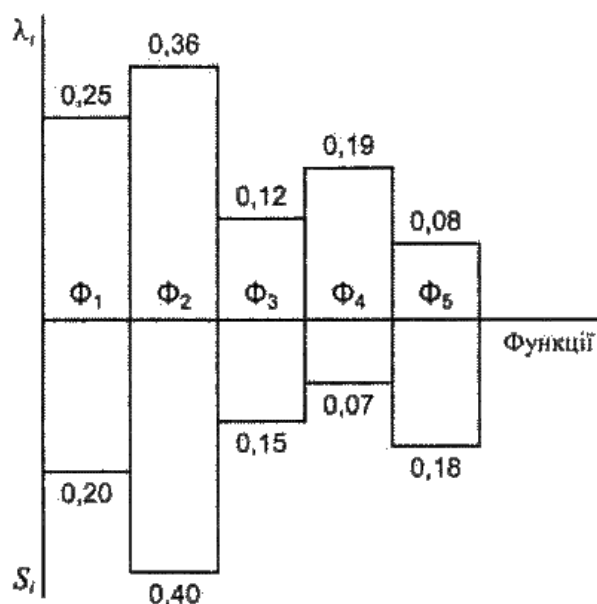


Рис. 6.2. Приклад функціонально-вартісної діаграми

Співставлення витрат на одиницю корисності (значущості) дозволяє виявити недосконалі зони СФМ. Такими вважаються функції, для яких  $s_{\phi_i}/q_{\phi_i} > 1$ . У наведеному на рисунку прикладі такими будуть функції  $\Phi_2, \Phi_3, \Phi_5$ .

Аналіз внутрішньої функціональної організованості технічних чи виробничих систем, рівня виконання зовнішніх функцій поряд з функціонально-вартісною діагностикою дає можливість комплексно оцінити якість системи, встановити напрямки підвищення її корисних властивостей. Результати аналітичного етапу ФВА дають необхідну інформацію для творчого етапу, на якому здійснюється пошук ідей вдосконалення системи, формується вихід на множини можливих альтернативних варіантів і прийняття рішення.

Наявність аналітичної залежності корисності від часткових критеріїв, а також плати за корисність (затрат) від її складників створює необхідні передумови для кількісного порівняння альтернативних варіантів. Числові значення часткових ( $q_j$ ) і узагальненого критеріїв корисності ( $Q$ ), а також часткових ( $s_i$ ) та загальних ( $C$ ) затрат доцільно занести в матрицю оцінок (табл. 6.2).

У матриці оцінок часткові критерії корисності або затрат наводяться переважно з метою контролю дотримання додаткових умов і обмежень на їх величини, а рішення приймається за величиною двох узагальнених критеріїв  $Q$  і  $C$ .

Таблиця 6.2

Матриця оцінок варіантів ВМА

Варіанти	Критерії корисності					Критерії затрат				
	$q_1$	$q_2$	...	$q_m$	$Q_i$	$s_1$	$s_2$	...	$s_k$	$C_i$
$B_1$	$q_{11}$	$q_{21}$	...	$q_{1m}$	$Q_1$	$s_{11}$	$s_{12}$	...	$s_{1k}$	$C_1$
$B_2$	$q_{21}$	$q_{22}$	...	$q_{2m}$	$Q_2$	$s_{21}$	$s_{22}$	...	$s_{2k}$	$C_2$
...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...
$B$	$q_{n1}$	$q_{n2}$	...	$q_{nm}$	$Q_n$	$s_{n1}$	$s_{n2}$	...	$s_{nk}$	$C_n$

Існують різні процедури прийняття рішення за двома критеріями. Найбільш поширений підхід полягає у зведенні задачі до однокритеріальної, коли або корисність, або затрати виступають у ролі обмеження. Розглянемо такі прийоми на графічному прикладі (рис. 6.3 а).

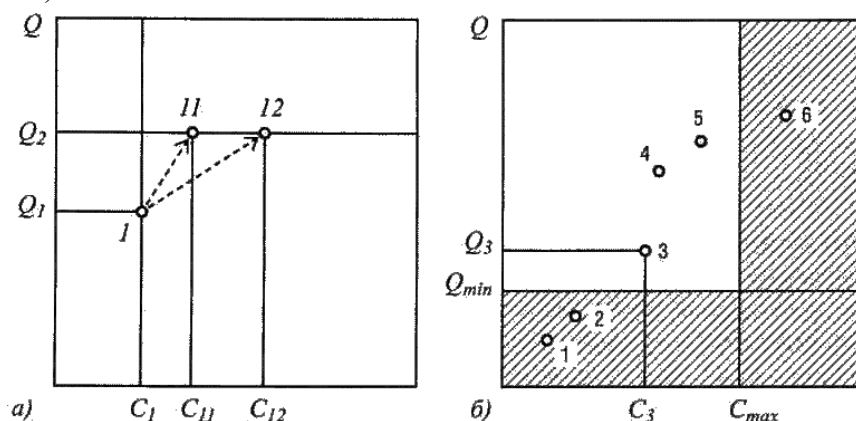


Рис. 6.3. Вибір раціонального варіанту в координатах критеріїв «корисність — затрати»: а — вибір при зафіксованому значенні корисності  $Q_2$ ; б — вибір за принципом максимальної економії коштів.

При ФВА мета може бути поставлена так: підвищити корисність системи з корисністю  $Q_1$  і затратами  $C_1$  до рівня корисності  $Q_2$  з мінімально можливими затратами. В цьому випадку можна вийти на варіант 11 або 12. Порівнюючи варіанти 11 і 12 за критерієм мінімуму затрат бачимо, що при  $Q_2 = \text{const}$  варіантові 11 відповідають менші затрати ( $C_{11} < C_{12}$ ). Отже, цей варіант повніше відповідає поставленій меті. Проте при проведенні ФВА часто виникають варіанти, що відрізняються один від одного величиною обох узагальнених критеріїв. Труднощі виникають, як правило, тоді, коли покращення одного критерію веде до погіршення іншого.

Одна з процедур вибору раціонального рішення полягає в застосуванні принципу максимальної економії коштів. При цьому встановлюють граничні значення критеріїв, тобто мінімально допустиме значення корисності  $Q_{min}$  і максимально допустимі затрати  $C_{max}$  (рис. 6.3 б). З подальшого розгляду виключають варіанти, для яких  $Q_i < Q_{min}$  (на рисунку — 1, 2), а також ті, для яких  $C_i > C_{max}$  (варіант 6). З варіантів що задовольняють вимогу щодо корисності ( $Q_i > Q_{min}$ ), вибирають той, для якого сукупні затрати будуть мінімальними. На рис. 6.3 б цій умові відповідає варіант 3.

Така процедура вибору може застосовуватись у випадках, коли нарощування корисності за певними границями вже не дає відповідного росту кінцевого ефекту. Так, збільшення продуктивності МТА має значення для проведення робіт в задані агротехнічні строки. Проте якщо умова проведення робіт в оптимальні строки задовольняється, то даліше нарощування продуктивності не забезпечує відчутного впливу на врожайність.

У межах ВМА можна також застосовувати відносні критерії  $Q_0/C_0 \rightarrow \text{max}$  або  $C_0/Q_0 \rightarrow \text{min}$ , тобто і в цьому випадку задача вибору зводиться до однокритеріальної. Після прийняття рішення проводиться розрахунок ефективності вибраного варіанту, яким закінчується дослідницький етап ФВА.

## Лекція №7.

### ТЕХНІКО-ЕКОНОМІЧНИЙ АНАЛІЗ АГРАРНИХ ТЕХНОЛОГІЧНИХ СИСТЕМ

Питання:

- Цілі та завдання техніко-економічного аналізу;
- Методи і прийоми техніко-економічного аналізу
- Техніко-економічні показники машиновикористання;
- Оцінка технічної оснащеності виробництва і показників використання технічного потенціалу.

#### ЦІЛІ ТА ЗАВДАННЯ ТЕХНІКО-ЕКОНОМІЧНОГО АНАЛІЗУ

В умовах товарно-грошових відносин і економічних важелів управління виробництвом особливого значення набуває економічне обґрунтування рішень як на загальногосподарському, так і вузькопрофесійному рівнях. Сільське господарство на даний час і у видимій перспективі буде базуватись на механізованих технологіях, тому виникає потреба в системному дослідженні сумісної дії численних технічних, організаційних і соціально-економічних факторів на кінцеві показники виробничої діяльності. У цьому полягає суть і зміст техніко-економічного аналізу, який спрямований на вдосконалення технічних і виробничих систем, підвищення їх економічної ефективності, спираючись на механізми дії економічних законів.

Стосовно до специфіки інженерної діяльності об'єктами техніко-економічного аналізу можуть бути: окремі технічні засоби, механізовані процеси процеси і технології, виробничі зони і комплекси, організація праці, управління виробничими процесами.

До типових завдань техніко-економічного аналізу відносять:

- визначення показників економічної ефективності функціонування технічної чи технологічної системи в певних умовах;
- визначення впливу різних факторів на показники ефективності функціонування системи;
- оцінка ефективності використання виробничого потенціалу;
- оцінка рівня технічних систем за основними параметрами і показниками ефективності;
- оцінка рівня організації праці та управління виробничими процесами;
- виявлення резервів підвищення ефективності систем і шляхів їх використання.

У процесі техніко-економічного аналізу встановлюються зв'язки і залежності між аналітичними показниками і факторами виробництва. На основі таких закономірностей визначають шляхи вдосконалення систем, які забезпечували б високий економічний ефект.

Економічний ефект оцінюється різницею між результатами виробничої діяльності у вартісному виразі і затратами на досягнення цих результатів:

$$E_p = Q_p - S_B \quad (7.1)$$

де  $E_p$  — економічний ефект, грн;

$Q_p$  — корисні результати виробництва, грн;

$S_B$  — затрати на отримання корисних результатів, грн.

Як видно з (7.1), економічний ефект є абсолютним показником і може мати як додатню величину (прибуток), так і від'ємну (збитки). Позитивного ефекту можна досягти за рахунок збільшення обсягу виробництва (продуктивності) або зниження затрат (економії ресурсів).

Економічна ефективність технологічних систем ( $E$ ) характеризується відношенням економічного ефекту до затрат:

$$E = E_p / S_B \quad (7.2)$$

На відміну від економічного ефекту ефективність є величиною відносною (ефект на одиницю затрат). При цьому затрати можуть бути виражені як у грошових, так і в натуральних одиницях. Так, економічна ефективність з зрощування продукції рослинництва визначається відношенням вартості заробленої основної і побічної продукції до сумарних затрат коштів

$$E_m = \frac{(U_o C_o + U_d C_d) - \sum_j S_{nj}}{\sum_j S_{nj}}, \quad (7.3)$$

а ефективність праці — відношенням до сумарних затрат праці

$$E_{np} = \frac{(U_o C_o + U_d C_d) - \sum_j S_{nj}}{\sum_j Z_{npj}}, \quad (7.4)$$

де  $E_m$  — економічна ефективність технології виробництва продукції;

$E_{np}$  — ефективність праці при даній технології, грн/люд · год;

$U_o$  і  $U_d$  — зібраний врожай основної і побічної продукції, т/га;

$C_o$  і  $C_d$  — вартість основної і побічної продукції, грн/т;

$S_{nj}$  — приведені затрати коштів на  $j$ -тій операції, грн/га;

$Z_{npj}$  — затрати праці на  $j$ -тій операції, люд · год/га.

Ефективність використання МТП можна також характеризувати вартістю валової продукції на 1 грн вартості МТП.

При функціонуванні систем завжди спостерігається певний розрив між їх потенційною і фактичною ефективністю. Основними причинами неповного використання потенційних можливостей виробничих систем є нераціональний розподіл ресурсів, недостатня обґрунтованість рішень і дисципліна їх виконання, неузгодженість взаємодії складових виробничого процесу, недосконалість економічних стимулів та інші. Виходячи цього, важливою задачею техніко-економічного аналізу є встановлення факторів, що гальмують повне використання потенційних можливостей систем та їх усунення.

Поряд з оцінкою загальної ефективності системи часто виникає необхідність необхідності аналізу часткової ефективності її складових. Мірою часткової ефективності є її внесок у загальну ефективність. Зокрема, можна оцінювати вплив окремих машин, засобів діагностування і технічного обслуговування на ефективність функціонування МТП, вплив останньої на ефективність виробництва в цілому.

Отже, у практичній діяльності важливо сформулювати систему аналізу ефективності, в якій будуть органічно поєднані поелементний і загальний аналізи як у просторі (за об'єктами), так і в часі (оперативний, поточний перспективний). Приклад системи аналізу ефективності використання МТП господарства наведений на рис. 7.1.

Оперативний аналіз проводиться щоденно на основі контролю стану підготовки техніки до проведення технологічних операцій, а також у міру надходження оперативної інформації про хід виробничих процесів. У задачі такого аналізу входить своєчасне усунення причин можливих несприятливих відхилень у ході робіт, оцінка ритмічності робіт і виконання планових завдань. Оперативний аналіз охоплює лише окремі складові виробництва, а тому не дозволяє дати цілісну економічну оцінку.

Поточний економічний аналіз проводиться протягом року по основних технологічних циклах або окремих місяцях і кварталах. Об'єктами такого аналізу є виробничі процеси в окремих підрозділах. Аналізу підлягають проміжні або підсумкові аналітичні показники за певний період, що дозволяє робити деякі узагальнення, оцінювати стан і перспективу реалізації поставлених виробничих завдань.

Річний аналіз ефективності функціонування виробничих систем в умовах сільського господарства характеризує завершений цикл робіт із певними кінцевими результатами. Він є основою для вдосконалення і розвитку виробництва.

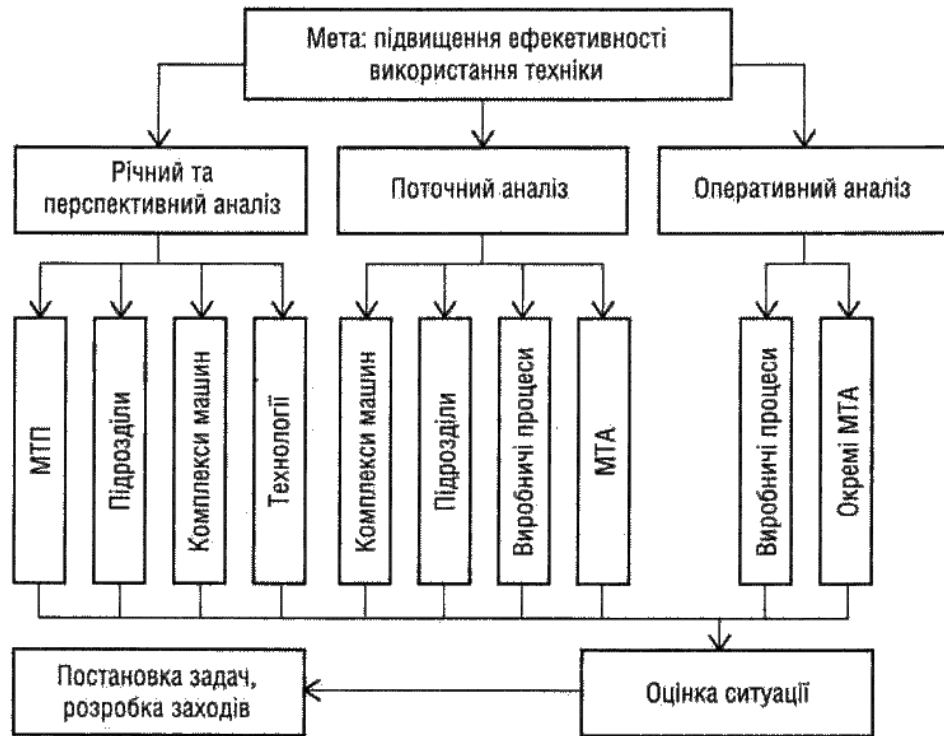


Рис. 7.1. Комплексний аналіз ефективності використання МТП аграрного підприємства

Для виявлення загальних тенденцій і прогнозування розвитку виробництва проводять ретроспективний аналіз за декілька років.

Усі види аналізу тісно пов'язані між собою, бо розкрити резерви виробництва можна на основі використання інформації, отриманої при проведенні оперативного, поточного і річного аналізів.

## МЕТОДИ І ПРИЙОМИ ТЕХНІКО-ЕКОНОМІЧНОГО АНАЛІЗУ

Техніко-економічний аналіз як технологія обґрунтування рішень базується на сукупності сучасних методів і прийомів аналізу зв'язків, оцінки ситуації та вибору ефективних напрямків удосконалення виробництва. Найбільш поширені в інженерній практиці методи і прийоми наведені на рис. 7.2.

Розглянемо їх суть і можливості застосування у сфері експлуатації сільськогосподарської техніки.

Порівняння дає важливу інформацію для загальної оцінки технічного рівня і показників функціонування систем.

Основними правилами порівняння фізичних величин є наступні:

- порівнювати можна однакові за змістом і розмірністю величини;
- порівнювати можна величини показників, що отримані в однакових або приведених до порівняльного стану умовах.

Останнє правило не стосується випадків, коли аналіз проводиться з метою виявлення впливу умов на величину показників.

Так, непорівняльною є продуктивність орного і боронувального агрегатів, бо вона відрізняється змістом технологічної операції. Зведення тракторів різного класу до умовного еталонного трактора і виробітку до умовного еталонного гектару дозволяє порівнювати продуктивність різних МТА на різних операціях.

Порівняння продуктивності однотипного МТА при роботі на полях з різною довжиною гонів допускається, якщо метою аналізу є вивчення впливу довжини гонів на продуктивність МТА.

Порівняння альтернативних варіантів використовується в задачах вибору раціонального варіанту. При цьому порівняння проводиться за величиною критерію.

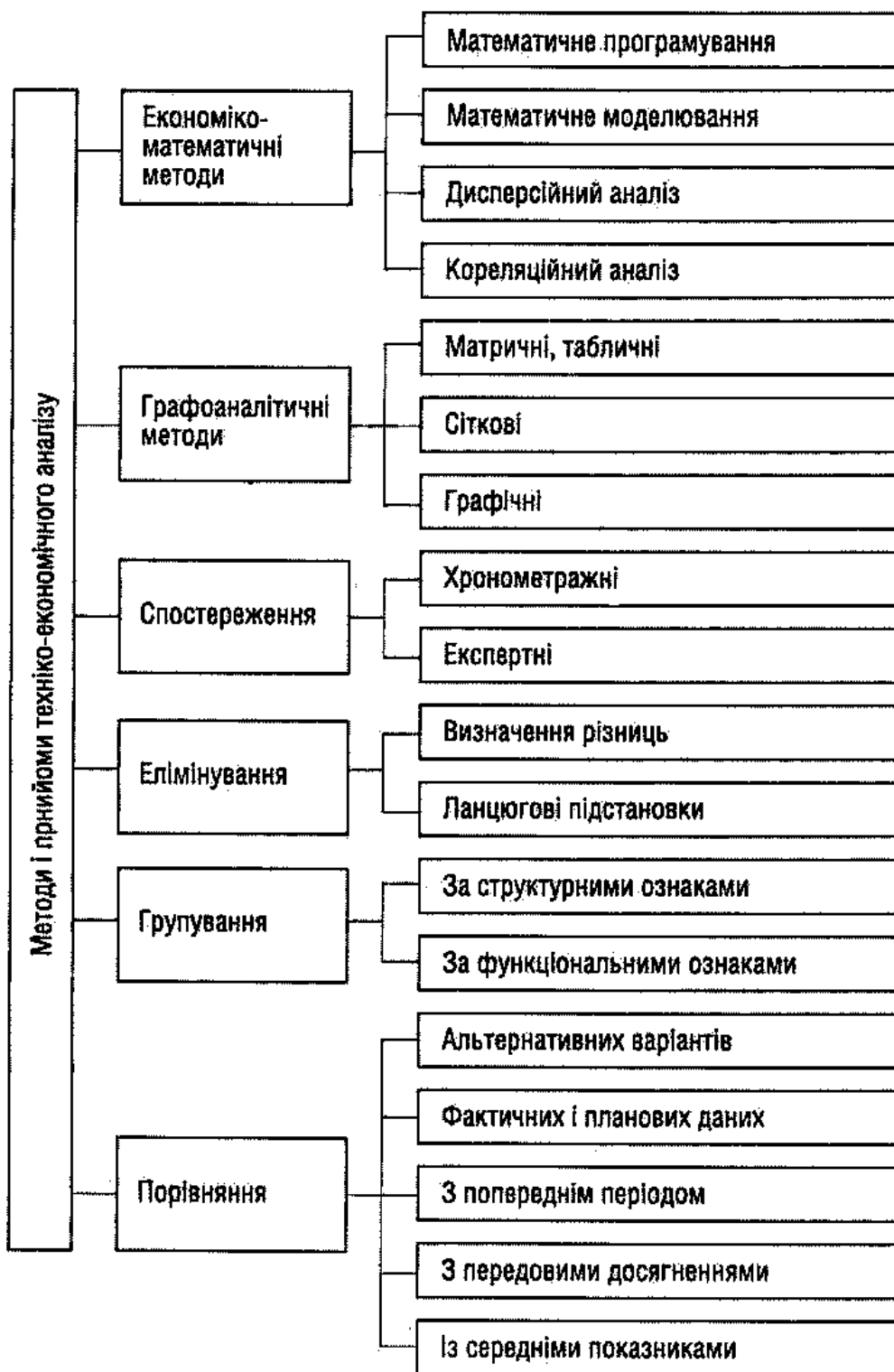


Рис. 7.2. Види методів і прийомів техніко-економічного аналізу технологічних систем

Наприклад, вибір раціональної робочої передачі трактора при роботі МТА може здійснюватись на основі порівняння величини ступеню використання тягового зусилля на різних передачах у діапазоні агротехнічно допустимих швидкостей.

Порівняння фактичних даних із плановими або нормативними дає інформацію про рівень матеріально-технічної бази та її використання, хід виробничих процесів, ступінь виконання норм, планів та завдань.



Динаміку показників виробництва в абсолютних або відносних величинах оцінюють порівнянням їх величин у різні періоди часу. Це дає уяву про закономірності розвитку (або деградації) виробничих систем, темпи приросту або спаду виробництва.

Оцінити досягнутий рівень виробництва можна шляхом порівняння показників із передовими досягненнями або середніми по зоні даними. Це дозволяє оцінити потенційні можливості вдосконалення виробництва, встановити місце даного господарства в ранжирному ряду аналогічних господарств.

Важливим прийомом впорядкування і аналізу множини статистичних даних є групування. Цей прийом передбачає виділення якісно однорідних груп даних за характерними ознаками для подальшого виявлення взаємозв'язків між окремими факторами і основними показниками.

*Структурні* групування дають можливість проаналізувати вплив структури і складу системи на показники її функціонування.

Наприклад, групування полів за нормоутворюючими факторами (площа, довжина гону, рельєф, наявність перешкод та ін.) дозволяє встановити вплив польових умов на техніко-економічні показники роботи МТА.

Склад і структура системи можуть аналізуватись як у статистиці, так і в динаміці. Дослідження зв'язків структурних параметрів і показників функціонування системи в динаміці дозволяє встановити важливі закономірності і визначити напрямки вдосконалення системи.

*Аналітичні* групування проводять для вивчення впливу різних факторів на показники функціонування системи.

При групуванні величин, що можуть приймати дискретні числові значення (наприклад, число механізаторів) або неперервні (рівень механізації), потрібно вибрати певний інтервал, у межах якого група вважається однорідною.

При аналізі машиновикористання для кожної з груп, що сформовані за певними ознаками, приводять значення показників функціонування і кінцеві результати виробництва. Це дає можливість встановити залежність показників ефективності від групи значень факторів.

Так, при дослідженні впливу технічної оснащеності на ефективність виробництва можна групувати господарства за площею ріллі, що припадає на 1 трактор. Для кожної з груп визначаються усереднені показники використання техніки та кінцеві результати виробництва (табл. 7.1).

Таблиця 7.1.

Залежність показників виробництва від рівня оснащення технікою фермерських господарств(приклад)

Показник	Країні показники	Групи господарств за площею ріллі на 1 трактор, га			
		1	2	3	4
		до 73	74-99	100-124	
Площа ріллі на 1 умовний трактор, га	43,4	59,5	83,2	113,0	136,2
Річний виробіток на умовний трактор, у.е. га	1902	1794	1853	1868	1837
Коефіцієнт змінності	1,15	1,08	1,10	1,11	1,13
Щільність механізованих робіт	43,2	30,2	24,3	15,2	11,8
Вироблено на 1 га ріллі валової продукції, грн..	1350	644	439	303	257
Вироблено валової продукції на 1 люд. год., грн..	3,63	2,87	2,46	2,03	1,98

Наведені дані дозволяють зробити важливі висновки про резерви підвищення ефективності виробництва.

*Елімінація (вилучення)* — це прийом, за допомогою якого визначається вплив одного фактору при нейтралізації дії інших змінних.

В аграрному виробництві на кінцеві показники впливає сумісна дія багатьох факторів, тому для оцінки ролі окремого фактору широко використовують прийом елімінації.

Елімінація можна здійснити шляхом ланцюгових підстановок. Схема цього прийому для найпростішої двофакторної залежності наведена в таблиці 7.2.

Таблиця 7.2

Загальна схема ланцюгових підстановок				
Підстановка	Фактори		Функція	Вплив фактору
	$x_1$	$x_2$		
Нульова (базисні дані)	$x_{10}$	$x_{20}$	$y_0$	—
Перша	$x_{1\phi}$	$x_{20}$	$y_1$	$y_1 - y_0$
Друга	$x_{1\phi}$	$x_{2\phi}$	$y_2$	$y_2 - y_1$

Баланс відхилень визначають за формулою:

$$(y_1 - y_0) + (y_2 - y_1) = y_\phi - y_0 \quad (7.5)$$

де  $y_0$  і  $y_\phi$  — базисне (планове) і фактичне значення функції, тобто узагальнюючого показника.

Основною умовою застосування цього прийому є наявність прямої чи оберненої пропорційної залежності між величинами, що досліджуються. Число підстановок відповідає числу факторів, що входить у розрахункову формулу. Важливе значення має вибір базису. Ним може бути плановий показник.

Приклад:

У господарстві плановий річний обсяг механізованих робіт становить  $W_{pn} = 64\,000$  у.е. га при кількості умовних тракторів  $n_{Tn} = 40$ . Фактично знаходилось у роботі  $n_{T\phi} = 38$  умовних тракторів, які виконали обсяг робіт  $W_{p\phi} = 62\,900$  у.е. га. Річний виробіток на один умовний трактор становить: плановий —  $W_{mn} = 1\,600$  у.е. га, фактичний  $W_{T\phi} = 1\,700$  у.е. га. Зв'язок між факторами ( $n_T$ ,  $W_T$ ) та функцією ( $W_p$ ) визначається формулою:

$$W_p = n_T \cdot W_T$$

Результати оцінки впливу факторів на недовиконання запланованого обсягу механізованих робіт наведені в табл. 7.3.

Баланс відхилень становить:  $-4800 + 3700 = -1100$  у.е. га.

Таким чином, вплив зниження кількості тракторів на недовиконання загального обсягу механізованих робіт становить 4806 у.е. га.

Таблиця 7.3

Оцінка впливу факторів на річний обсяг механізованих робіт				
Підстановка	Фактори		Функція $W_p$ , у.е. га	Вплив фактору
	$n_T$	$W_T$ , у.е. га.		
0 (план)	40	1600	64000	—
1	37	1600	59200	- 4800
2	37	1700	62900	+ 3700

Недовиконання дещо вдалося компенсувати кращим використанням тракторів (+3700 у.е. га). Проте це не дозволило досягти запланованого обсягу робіт (-1100 у.е. га).

*Визначення абсолютних різниць* полягає у знаходженні різниць між фактичною і базисною величинами факторів і визначенні їх впливу на загальне відхилення за узагальнюючим показником. По суті це математичне перетворення (винесення спільного множника за дужки) формул ланцюгових підстановок. Так, для приведеного вище прикладу першу підстановку можна записати у вигляді:

$$W_{p1} - W_{pn} = n_{T\phi} W_{Tn} - n_{Tn} W_{Tn} = W_{Tn} (n_{T\phi} - n_{Tn}), \quad (7.6)$$

а другу підстановку як:

$$W_{pф} - W_{p1} = n_{mф} W_{mф} - n_{mф} W_{Tn} = n_{mф} (W_{mф} - W_{mn}) \quad (7.7)$$

При застосуванні прийому елімінування кількість факторів може бути більше двох, але методика розрахунків залишається тією ж. Крім абсолютних можуть також визначатися відносні різниці, де базисні показники приймаються за 100%, а всі інші виражаються в процентах від базисних.

Спостереження є ефективним прийомом виявлення резервів безпосередньо в ході виробництва. У машиновикористанні широко застосовують хронометражні спостереження, які дозволяють вивчити структуру робочого часу, витрат палива, виявити організаційні резерви підвищення ефективності праці.

Приклад:

Обстеження використання техніки в напружені періоди польових робіт із застосуванням хронометражу дало наступні результати (табл. 7.4). Їх аналіз дозволяє розробити конкретні заходи з підвищення продуктивності праці.

Таблиця 7.4

Структура внутрішньозмінних втрат робочого часу

Види робіт	Прості за зміну, хв.	У тому числі, %				
		Технічні	Організаційні	Звиконання вців	Зпогодних умов	інші
Сівба зернових культур	84,0	32,4	57,6	0,9	9,1	—
Підбір і обмолот валків	107,3	40,0	45,3	4,0	10,7	—
Збирання цукрових буряків	138,0	44,6	32,7	2,5	16,0	4,2
Транспортні роботи	70,6	24,1	58,7	8,5	6,0	2,7

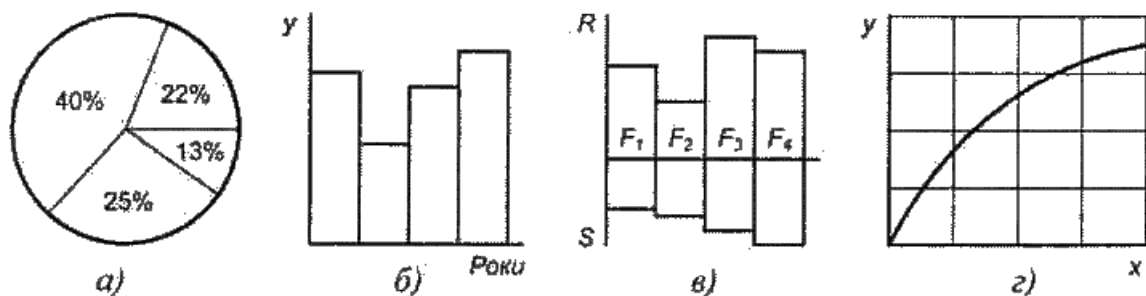


Рис. 7.3. Графічне зображення аналітичних даних:

- а — кругова діаграма; б — площинна однофакторна діаграма;
- в — діаграма корисність (R) — затрати (S) для функцій (F);
- г — графік аналітичної залежності

Цілеспрямовані спостереження за виробничими процесами дають можливість комплексно оцінити виробничу обстановку і прийняти колективне рішення про його вдосконалення.

Графоаналітичні методи передбачають подання інформації у вигляді таблиць, а також графічного зображення аналітичних даних.

Цифрові дані дають можливість встановити аналітичні залежності між факторами, оцінити динаміку показників, тощо.

Наочне зображення цифрових даних можна подати у вигляді діаграм або графіків (рис. 7.3). Діаграми частіше використовують для зображення структурної інформації, а

також динаміки показників. За допомогою графіків зручно подавати залежності показників від одного або двох факторів.

Особливою формою графічного зображення послідовності виробничих процесів є сіткові графіки, аналіз яких дозволяє виявити напружені періоди робіт, резерви часу, встановити потребу і зайнятість техніки).

Поглиблене вивчення закономірностей виробничого процесу, зв'язків між факторами і узагальнюючими показниками здійснюється з використанням економіко-математичних методів. До цієї групи методів відносять математичне моделювання виробничих процесів, яке базується переважно на детермінованих функціональних моделях, математичне програмування (лінійне, динамічне, стохастичне та ін.), дисперсійний і кореляційно-регресійний аналізи.

*Кореляція* характеризує взаємну залежність випадкових величин. Прикладом кореляційного зв'язку може бути залежність продуктивності МТА від стажу роботи механізатора. Ці дві величини не пов'язані строгою функціональною залежністю, проте статистичні дані свідчать, що середня продуктивність робітників зростає із збільшенням стажу роботи.

Кореляційний аналіз дозволяє кількісно оцінити тісноту зв'язку між випадковими величинами і ступінь впливу окремих факторів на зміну

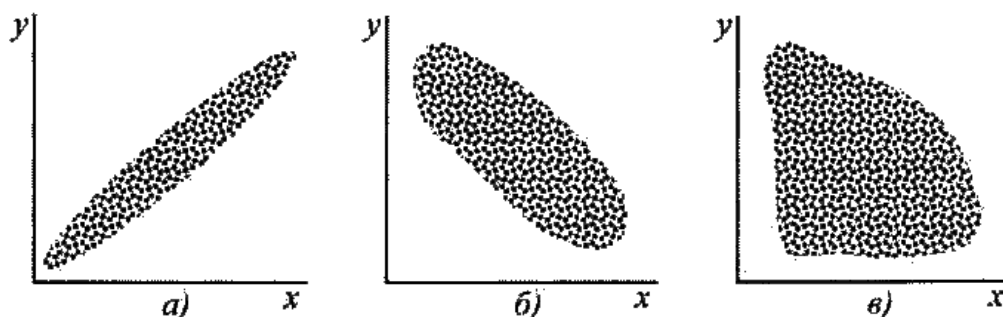


Рис. 7.4. Графічне зображення кореляційних залежностей (кореляційне поле):

- а — сильна пряма лінійна кореляція;  
б — слабка обернена кореляція; в — кореляційний зв'язок відсутній

узагальнюючого показника. Кореляція між двома змінними величинами називається парною, а між багатьма — множинною. Приклади кореляції з різною тісністю зв'язку наведені на рис. 7.4.

Важливою перевагою кореляційно-регресійного аналізу є встановлення математичного рівняння, що відображає зв'язки між факторами і узагальнюючим показником (*рівняння регресії*), а також показників, що характеризують тісноту зв'язку (*коефіцієнт кореляції*). При прямій кореляційній залежності коефіцієнт кореляції змінюється від 0 до 1, при оберненій — від 0 до -1. Чим ближче абсолютне значення коефіцієнта до 1, тим сильніший кореляційний зв'язок між факторами.

Кореляційний аналіз широко застосовують у побудові так званих *виробничих функцій* (ВФ), які є економіко-математичними рівняннями зв'язку затрат ресурсів із кінцевими результатами виробництва.

## ТЕХНІКО-ЕКОНОМІЧНІ ПОКАЗНИКИ МАШИНОВИКОРИСТАННЯ

Аналіз і оцінка ефективності використання МТП повинні базуватись на системі аналітичних показників, яка включає як узагальнюючі, так і часткові показники. Загальна схема формування сукупності показників наведена на рис. 7.5.

Обсяг виконаних робіт характеризує корисність техніки і відноситься до основних показників техніко-економічного аналізу.

До цієї групи входять продуктивність агрегатів, виробіток за певний період часу (зміну, день, сезон, рік, строк експлуатації), а також відносні показники рівня виробітку.

У сільськогосподарському виробництві особливе значення має використання ресурсу часу, бо виконання технологічних операцій в оптимальні агротехнічні строки значно впливає на кінцеві результати. Тому в техніко-економічному аналізі важливо оцінювати рівень своєчасності робіт. До часових показників відносяться також коефіцієнт змінності і коефіцієнт використання часу зміни.

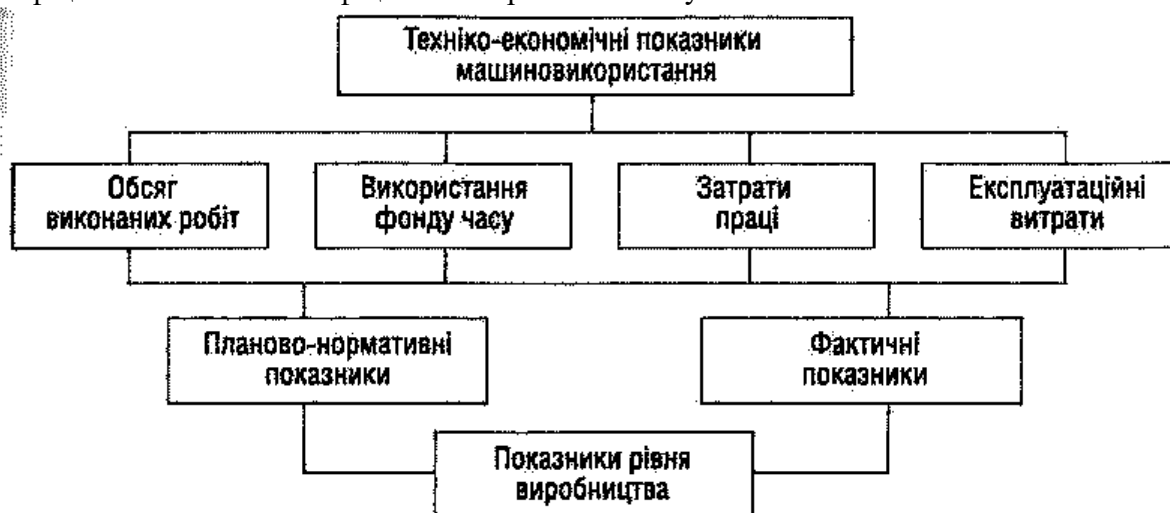


Рис. 7.5. Схема формування показників ефективності використання техніки

Затрати праці, технологічних матеріалів, палива безпосередньо впливають на економічні показники виробництва. Вибір раціонального складу МТА, проектування ресурсозберігаючих процесів і технологій сприяє зниженню експлуатаційних витрат і показників ефективності виробництва.

Вартість одиниці механізованих робіт є одним з основних узагальнюючих економічних показників у сфері машиновикористання. Вона залежить від експлуатаційних властивостей техніки, рівня організації робіт, експлуатаційних витрат. Проте цей показник не відображає впливу механізованих робіт на кінцеві результати виробництва — врожай. Адже економічно, але несвоєчасно виконані технологічні операції ведуть до великих втрат кінцевої продукції.

У сільському господарстві важливий узагальнюючий показник ефективності виробництва — продуктивність праці — може бути визначений лише після завершення технологічного процесу, коли можна встановити врожайність культур, обсяг валової продукції і сумарні затрати праці. Тобто при оцінці ефективності використання техніки важливо відрізнити безпосередній (прямий) ефект при виконанні механізованих робіт від кінцевого ефекту виробничої діяльності, що формується внаслідок сумісної дії багатьох чинників, у тому числі і використання техніки.

## ОЦІНКА ТЕХНІЧНОЇ ОСНАЩЕНОСТІ ВИРОБНИЦТВА І ПОКАЗНИКІВ ВИКОРИСТАННЯ ТЕХНІЧНОГО ПОТЕНЦІАЛУ

Ефективність сільськогосподарського виробництва тісно пов'язана з рівнем механізації технологічних процесів, який, у свою чергу, залежить від структури та складу машинно-тракторного парку (МТП) господарства чи окремих ТхС.

Аналіз технічного оснащення проводиться періодично з метою виявлення наявних невідповідностей між існуючим станом механізації технологічної системи і можливостями підвищення рівня механізації та структурного удосконалення МТП.

Основними показниками технічного оснащення господарства є: тракторозабезпеченість, машинозабезпеченість, енергонасиченість землеробства, енергоозброєність праці.

Тракторозабезпеченість ( $n_{mp}$ ) визначається відношенням середньорічної кількості еталонних тракторів ( $n_{mp-ет}$ ) до 100 га ріллі ( $F_p$ ), тобто

$$n_{mp} = 100 n_{mp, en} / F_p = 100 \sum n_{\phi m} \lambda_m / F_p \quad (7.8)$$

де  $n_{\phi m}$  і  $m$  — відповідно, число тракторів певної марки та коефіцієнт їх переведення в еталонні трактори.

*Машинозабезпеченість* ( $m_{сгм}$ ) характеризується відношенням балансової вартості сільськогосподарських машин ( $B_{сгм}$ ), що агрегатуються з тракторами, до балансової вартості тракторів ( $B_m$ ):

$$m_{сгм} = B_{сгм} / B_m \quad (7.9)$$

*Енергонасиченість землеробства* ( $E_3$ ) оцінюється сумарною ефективною потужністю тракторів, комбайнів, самохідних машин і енергетичних засобів ( $N_{en}$ ), що припадає на 100 га ріллі:

$$E_3 = 100 \sum N_{en} / F_p \quad (7.10)$$

*Енергоозброєність праці* оцінюється сумарною ефективною потужністю тракторів, комбайнів, самохідних машин і енергетичних засобів ( $N_{en}$ ), що припадає на одного середньорічного працівника ( $n_n$ ), зайнятого на виробництві або на одного механізатора ( $n_m$ ). Відповідні формули мають вигляд:

$$E_{on} = \sum N_{en} / n_n \quad \text{і} \quad E_{om} = \sum N_{en} / n_m \quad (7.11)$$

Рівень механізації виробництва або окремих його процесів визначається як відношення обсягу механізованих робіт ( $Z_{mex}$ ) або затрат праці ( $Z_{mex}$ ) при механізованих роботах до загального обсягу робіт ( $Z_{заг}$ ) або затрат праці ( $Z_{заг}$ ):

$$P_{mex} = \Omega_{mex} / \Omega_{заг} \quad \text{або} \quad P_{mex} = Z_{mex} / Z_{заг} \quad (7.12)$$

Рівень показників (7.10-7.12) визначається як відношення фактичного його значення ( $\Pi_{\phi}$ ) до нормативного або кращого з досягнутих у господарствах певної зони ( $\Pi_n$ ), якщо їх покращання йде в напрямку зростання ( $P_n^+$ ) і навпаки, коли показники покрощуються в сторону зниження ( $P_n^-$ ), тобто

$$P_n^+ = \Pi_{\phi} / \Pi_n \quad \text{і} \quad P_n^- = \Pi_n / \Pi_{\phi} \quad (7.13)$$

За рівнем показників технічного оснащення виробництва роблять висновки щодо його удосконалення і розвитку.

Щільність механізованих робіт може визначатися як по господарству в цілому, так і для окремих с.-г. культур. Цей показник характеризується відношенням обсягу механізованих робіт  $CI_M$  (у господарстві чи щодо культури) до площі  $F_n$  ріллі або певної культури:

$$\omega_M = \Omega_M / F_n \quad (7.14)$$

*Своєчасність* робіт забезпечується умовою

$$T_{зм} \sum_j W_j n_j k_{зм} \geq \frac{\Omega_M}{D_p} \quad (7.15)$$

## Лекція №8.

### ДЕТЕРМІНОВАНІ МОДЕЛІ ПРИЙНЯТТЯ ІНЖЕНЕРНИХ РІШЕНЬ

Питання:

- Цілі та завдання техніко-економічного аналізу;
- Оптимізаційні моделі;
- Одномірна оптимізація без обмежень;

### ЗАГАЛЬНА ХАРАКТЕРИСТИКА ДЕТЕРМІНОВАНИХ МОДЕЛЕЙ

У процесі проектування, планування і організації виробництва часто потрібно проводити інженерні або інженерно-економічні розрахунки. За допомогою їх виявляють наявні протиріччя і невідповідності, встановлюють числові значення керованих змінних і критеріїв, тобто готують прийняття раціонального рішення. Природно, що якість розрахунків зумовлює якість прийнятого рішення.

Точність і надійність розрахунків залежать від достовірності вихідної інформації, відповідності розрахункової моделі реальним процесам, обчислювальної техніки. На даний час в інженерній практиці найбільш поширені детерміновані розрахункові моделі.

Детерміновані моделі прийняття рішень базуються на використанні аналітичних залежностей, які однозначно задають зв'язок вихідних даних з показниками ефективності рішення (критеріями). Тобто, для заданої сукупності вихідних даних може бути одержана єдина відповідь.

Однозначність вихідних даних, до яких відносяться зовнішні умови, керовані та некерovanі фактори, істотно спрощує задачу, але при цьому зростає ймовірність прийняття нераціонального рішення. Така ймовірність пов'язана з впливом на хід процесів випадкових факторів. Тому детерміновані моделі інколи є лише першим етапом прийняття рішення. Надалі оцінюються можливі зміни виробничої-ситуації, ймовірність виникнення екстремальних умов.

Фактори ймовірнісної природи в детермінованих моделях можуть бути задані середнім значенням (математичним сподіванням) випадкової величини, її екстремальним значенням, якщо ймовірність появи такого є істотною для досягнення мети, резервуванням ресурсів, а також коефіцієнтами, що враховують можливі несприятливі відхилення.

Наприклад, у розрахунках необхідної кількості технічних засобів для проведення робіт в оптимальні агротехнічні строки можливість несприятливих погодних умов може бути врахована середньостатистичним коефіцієнтом погодності в заданому календарному періоді.

При проектуванні технічних або виробничих систем за допомогою розрахунків визначають їх параметри, раціональні режими функціонування, вихідні характеристики процесів, економічну ефективність при плануванні та організації робіт, розраховують потребу в техніці і ресурсах, встановлюють послідовність операцій, взаємодію технічних засобів і обслуговуючого персоналу. Тобто інженерні розрахунки спрямовані на формування певних властивостей систем, які найкращим чином забезпечили б досягнення мети.

Детерміновані моделі складають досить широкий клас, всередині якого можна виділити групи з різними властивостями. Зокрема, вони можуть бути лінійними і нелінійними, стаціонарними і динамічними, одно- і багатокритеріальними, оптимізаційними. Тому при виборі методу і розробці моделі прийняття рішення потрібно чітко уявляти значення точності розрахунків, наслідки помилкових висновків, а також наявні можливості реалізації моделі. У загальну схему прийняття рішень можуть входити розрахунки з одно- і багатоваріантними відповідями. Приклади характерних задач

інженерної служби, які можуть бути вирішені із застосуванням детермінованих моделей, наведені в табл. 8.1.

Таблиця 8.1

Приклади розрахункових задач у сфері машиновикористання

Формулювання задачі	Зміст моделі
Обґрунтувати проект машинного двору господарства, який забезпечував би встановлення на зберігання, збереження і підготовку техніки до роботи з мінімально можливими приведеними затратами	Обґрунтування варіантів структурно-функціональної схеми, будівель і двору Розрахунки: виробничих площ, потреби в обладнанні та складу спеціалізованої служби машинного двору, затрат на ремонт і збереження техніки, кошторисної вартості варіантів. Розрахунок економічної ефективності і екологічності об'єктів.
Розробити інженерне забезпечення ресурсозберігаючої технології, яка дозволяла б досягти запрограмованих врожаїв з максимумом коефіцієнту енергетичної ефективності ( $K_{en}$ ) технології.	Розрахунок потреби в техніці та ресурсах Розрахунок енергетичних еквівалентів комплексу машин, затрат праці та матеріальних ресурсів Розрахунок коефіцієнтів $K_{en}$ для різних варіантів технології
Запроектувати механізовані процеси для заготівлі кормів, забезпечивши максимум продуктивності праці	Оптимізувати склад збирально-транспортного комплексу. Узгодити взаємодію технічних засобів у просторі і часі.
Розробити річний план машиновикористання, забезпечивши своєчасне виконання робіт з мінімумом прямих затрат	Розрахунок складу і потреби в МТА Розподіл техніки за видами робіт у межах календарного періоду при мінімальних питомих затратах. Розрахунок питомих приведених затрат для окремих операцій, періодів та за рік
Визначити потребу в пересувних засобах ТС, забезпечивши виконання заданого обсягу робіт з мінімумом затрат на обслуговування	Розподіл обсягу робіт між стаціонарними та пересувними засобами ТО Розрахунки: раціонального радіусу обслуговування, числа технічних засобів і персоналу, затрат для різних варіантів і вибір раціонального варіанту
Встановити причину поломки деталі	Визначення режиму роботи і розрахунок деталі на міцність

*Одноваріантні розрахунки*, як правило, не передбачають порівняння альтернатив, тобто прийняття рішення здійснюється на основі однозначної відповіді. В окремих випадках відповідь порівнюють з еталонними або граничними значеннями. Так, в розрахунках на міцність висновки можуть бути зроблені при порівнянні розрахункових напружень з гранично допустимими значеннями. Розрахункові показники машиновикористання можна порівняти з досягнутими, середніми або потенційно можливими величинами.

При *багатоваріантних розрахунках* прийняття рішень здійснюється на основі співставлення результатів для різних варіантів за встановленими критеріями, тобто має місце критеріальний вибір. У більшості інженерних задач закладена багатоваріантність, отже, і необхідність обґрунтування рішень.

Так, при розробці плану механізованих робіт багатоваріантні розрахунки виконують для вибору раціонального складу МТА (наприклад, за критерієм максимуму продуктивності або мінімуму приведених затрат). Якщо на задану технологічну операцію відсутні альтернативні варіанти МТА, то предмету вибору нема і розрахунок показників буде одноваріантним. Багатоваріантність і необхідність проведення великого обсягу обчислень є основними причинами недостатнього обґрунтування інженерної документації та рішень, що приймаються.

Для визначення потреби в техніці та ресурсах, а також основних показників використання МТА (виробіток, витрата пального, прями затрати та ін.) необхідно провести 8-12 елементарних розрахунків на одній технологічній операції. Оскільки



річний план механізованих робіт передбачає сотні операцій, багато з яких можуть бути виконані різним складом МТА, то кількість елементарних розрахунків виражається тисячами.

Суттєво підняти рівень обґрунтованості інженерної документації та якості розрахунків можна при застосуванні комп'ютерів у складі АРМ інженера. Важливість розробки пакетів прикладних програм (ППП) для вирішення інженерних задач обумовлена ще й тим, що ряд одно- та багатоваріантних розрахунків приходиться виконувати неодноразово. Так, показники машиновикористання розраховують декілька разів на рік, а при розробці плану механізованих робіт розрахунки проводять щорічно з їх коректуванням протягом року. Тому фахівцям інженерної служби важливо сформулювати ППП стосовно до своїх службових обов'язків.

## ОПТИМІЗАЦІЙНІ МОДЕЛІ

У практиці обґрунтування інженерних рішень важливе місце займають оптимізаційні задачі з використанням детермінованих моделей.

Структура оптимізаційної моделі в загальному випадку включає цільову функцію  $F(x)$ , яку необхідно мінімізувати або максимізувати, обмеження  $h_k(x)$  у вигляді рівнянь, обмеження  $g_j(x)$  у вигляді нерівностей, а також область  $S$  допустимих значень незалежних змінних  $x$ . Для спрощення викладу будемо вважати, що оптимізація передбачає мінімізацію цільової функції  $F(x)$ . Тоді математичну модель у загальному вигляді можна записати так:

$$\begin{aligned} F(x) &= f(x_1, x_2, \dots, x_n) \rightarrow \min ; \\ h_k(x) &= 0, k = 1, 2, \dots, K ; \\ g_j(x) &\geq 0, j = 1, 2, \dots, J ; \\ x_i^h &\leq x_i \leq x_i^g, i = 1, 2, \dots, N, \end{aligned} \quad (8.1)$$

де  $x_i^h$  та  $x_i^g$  — нижнє та верхнє значення  $i$ -ї змінної.

Функція  $F(x)$  може мати локальний і глобальний мінімуми (рис. 8.1, а). Локальний мінімум функції  $F(x)$  існує в точці  $x_0$ , якщо для всіх значень  $x$  у діапазоні  $x_0 \pm \delta$  справедлива нерівність  $F(x) \geq F(x_0)$ . Функція  $F(x)$  має глобальний мінімум в точці  $x^*$ , якщо для всіх  $x$  справедлива нерівність  $F(x) > F(x^*)$ .

Якщо функція  $F(x)$  на відрізку  $a \leq x \leq b$  має лише одну точку мінімуму  $x^*$ , по обидві сторони від якої функція монотонно зростає, то така функція називається *унімодальною* (рис. 8.1, б). Унімодальні функції можуть бути не лише неперервними, але й дискретними, мати розриви. Проте для них також повинна бути справедливою умова  $F(x^*) \leq F(x)$  для всіх  $x \in S$ .

Оптимізаційні моделі можна класифікувати відповідно до вигляду функцій (8.1) та розмірності вектору  $X$ , тобто числом  $N$  змінних.

*Одномірна оптимізація без обмежень* характеризується наявністю однієї змінної і відсутністю обмежень  $h_k(x)$  і  $g_j(x)$ , тобто при

$$N = 1, J = K = 0, x^g = -x^h = \infty. \quad (8.2)$$

Задачі цього класу інакше називають *безумовною оптимізацією*, бо в них відсутні додаткові умови.

У випадках коли  $F(x)$  є функцією декількох аргументів (тобто  $N > 1$ ), а всі інші умови відповідають задачі типу (8.2), то має місце *багатомірна задача безумовної оптимізації*.

Задачі умовної оптимізації, в яких функції  $n_k(x)$  і  $g_j(x)$  є лінійними, відносяться до класу задач з лінійними обмеженнями. В них цільова функція може бути нелінійною і тоді їх називають задачами нелінійного програмування.

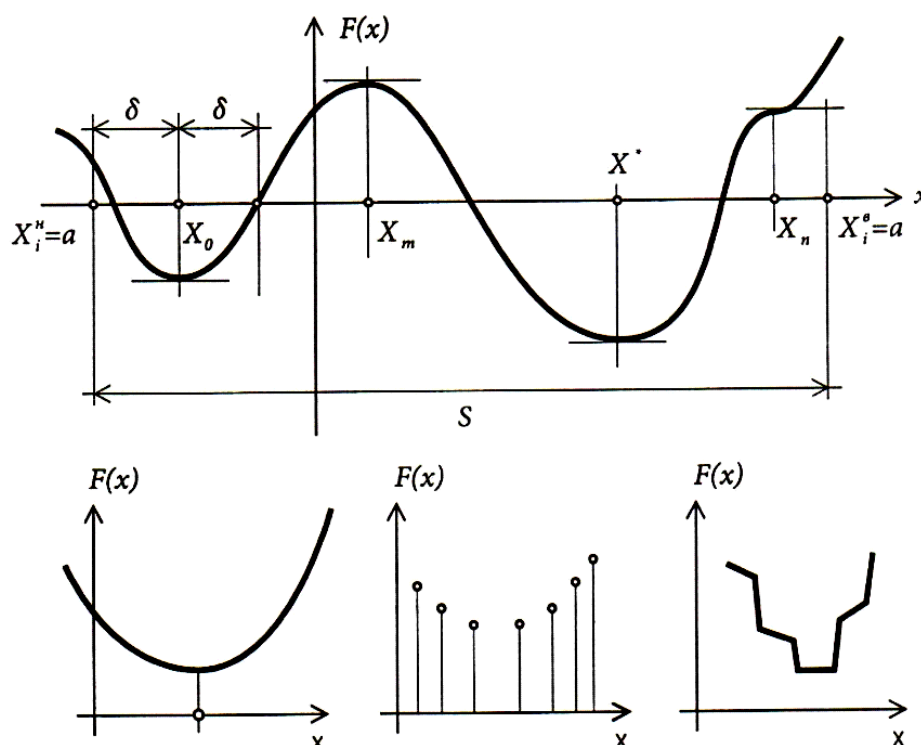


Рис. 8.1. Приклади функцій однієї змінної:

$a$  — неперервна функція з локальним ( $x_0$ ) і глобальним ( $x^*$ ) мінімумом у допустимій області  $S$ ;  $b$  — неперервна унімодална функція;  $c$  — дискретна унімодална функція;  $d$  — унімодална функція з розривами.

Якщо ж і цільова функція, і обмеження лінійні, то такі задачі відносяться до лінійного програмування. При додатковій умові, що всі або окремі змінні вектора  $X$  повинні бути цілими числами, задачі відносяться до цілочисельного програмування.

Наведена вище класифікація оптимізаційних задач має не лише методологічне, але й практичне значення, бо передбачає використання специфічних методів їх вирішення. Постановку оптимізаційних задач рекомендується здійснювати в такій послідовності.

Спочатку необхідно визначити границі системи, що оптимізується. Від цього суттєво залежать зміст і складність задачі. Наприклад, при обґрунтуванні складу збирально-транспортного комплексу можна оптимізувати розмір збиральних ланок, а всі інші ланки розрахунковими методами узгодити з основними. Такий вибір границь системи дозволяє вирішувати простішу оптимізаційну задачу, ніж при оптимізації всього ЗТК.

Наступним кроком буде обґрунтування критерію оптимальності, який однозначно і з достатньою повнотою характеризував би мету оптимізації. Призначення критерію є одним з найбільш відповідальних етапів.

Наприклад, при оптимізації потреби у збиральній техніці критерієм може бути сума затрат на придбання та експлуатацію техніки ( $S$ ) і втрат ( $B$ ) від недобору врожаю внаслідок збільшення строків збирання при недостатній кількості технічних засобів. У порівнянні з окремими складовими  $S$  і  $B$  їх сума ( $S + B$ ) є більш представницькою у відношенні до мети і в певних границях має оптимум (рис. 8.2).

Далі обґрунтовують набір незалежних змінних, які суттєво впливають на величину критерію оптимальності, а також обмеження. Від повноти включення незалежних змінних (факторів) у математичну модель задачі значною мірою залежить адекватність моделі реальній системі. З іншого боку, важливо не збільшувати розмірності задачі за

рахунок надлишкової деталізації моделі, включення факторів, що незначно впливають на цільову функцію.

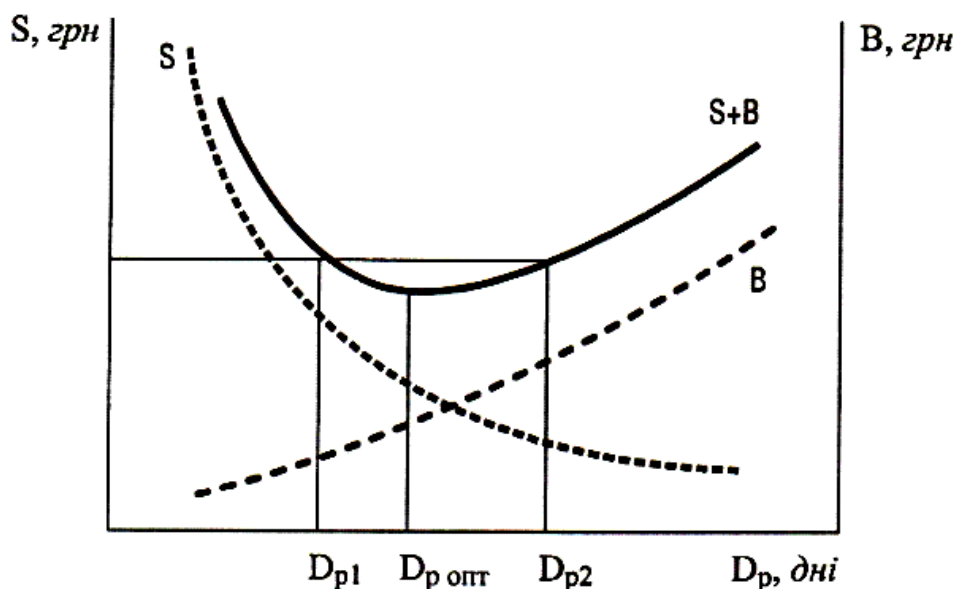


Рис. 8.2. Залежність затрат на придбання і утримання техніки ( $S$ ) і втрат врожаю ( $B$ ) від тривалості збирання

Математична модель задачі описує взаємозв'язки між факторами і відображає їх вплив на цільову функцію. Ці взаємозв'язки виражаються рівняннями, що описують фізичні процеси функціонування системи, а також сукупністю обмежень у вигляді рівнянь та нерівностей, які визначають область допустимих значень факторів, задають величину ресурсів і додаткові вимоги. Крім числа факторів, що включені в модель, на її адекватність впливає також аналітичний вираз рівнянь зв'язку. Так, спрощення моделі за рахунок виразу суттєво нелінійних зв'язків лінійними залежностями може призвести до неадекватності моделі. Таким чином, побудова математичної моделі вимагає розуміння суті процесів, що протікають у системі, а також вимог щодо точності кінцевих результатів оптимізації.

Після того, як визначені границі системи, обґрунтований критерій та цільова функція, побудована математична модель, постає питання вибору методу оптимізації. Значною мірою цей вибір залежить від класу задачі, тобто конкретного виразу загальної моделі, що описується функціями (8.1). Найпоширеніші в інженерній практиці методи оптимізації розглянемо детальніше пізніше.

### ОДНОМІРНА ОПТИМІЗАЦІЯ БЕЗ ОБМЕЖЕНЬ

Задача оптимізації, в якій величина критерію залежить від одного фактору, при відсутності обмежень відноситься до класу одновимірної безумовної оптимізації. Це найпростіші і водночас досить поширені в оптимізації інженерних рішень задачі.

Переходячи до методів одновимірної оптимізації, нагадаємо правила знаходження максимуму і мінімуму за допомогою похідних від функцій, що диференціюються (див. рис. 8.1 а і табл. 8.2). У точках мінімуму і максимуму відбувається зміна знаку першої похідної  $f'(x)$ , в той час як у точці перегину функції  $x_n$  знак похідної не змінюється. Отже, за допомогою похідних функцій, що диференціюються, ми можемо виявити точки екстремумів. Якщо функція  $f(x)$  унімодална, то цього достатньо для вирішення оптимізаційної задачі. Якщо ж функція має декілька мінімумів або максимумів, то для визначення локального чи глобального мінімуму необхідно порівняти значення функцій у відповідних точках, тобто порівняти  $f(x_0)$  і  $f(x^*)$  у наведеному прикладі (див. рис. 8.1 а).

## Характерні значення функції

Значення похідних функції	Точка	Значення функції
Перша похідна $f'(x) = 0$	$x_0$	Локальний мінімум
	$x_m$	Локальний максимум
	$x^*$	Глобальний мінімум
	$x_n$	Перегин функції
$f'(x) = 0$ , друга похідна $f''(x) < 0$	$x_m$	Локальний максимум
$f'(x) = 0$ , $f''(x) > 0$	$x_0$	Локальний мінімум
	$x^*$	Глобальний мінімум

## Приклад:

Нехай задана певна кількість листового матеріалу, з якого необхідно виготовити бункер нагромаджувач зерна циліндричної форми. Потрібно визначити радіус  $r$  і висоту  $h$  циліндра, при яких об'єм бункера буде максимальним ( $V_6 \text{ max}$ ).

З урахуванням площі відходів металу  $S_0$  поверхня бункера  $S_6$  буде рівною:

$$S_6 = 2\pi r h + \pi r^2 - S_0. \quad (8.3)$$

Припустимо, що у відходи йде лише метал при вирізанні дна (круга) із квадрату, що має сторону  $2r$ . Тоді

$$S_6 = 2\pi r h + \pi r^2 - S_0. \quad (8.4)$$

Висоту циліндра виразимо через об'єм бункера  $V_6$ :

$$h = V_6 / \pi r^2. \quad (8.5)$$

Підставивши вираз (8.5) у формулу (8.4), об'єм бункера можна записати у вигляді функції від однієї змінної — радіуса  $r$ :

$$V_6 = \frac{S_6}{2} r - 1,14 r^3 \quad (8.6)$$

Величина  $S_6$  регламентується заданою кількістю металу, тобто є для конкретного випадку постійною. Екстремум функції (8.6) знайдемо прирівнюючи до нуля її першу похідну:

$$\frac{dV_6}{dr} = \frac{S_6}{2} - 3,42 r^2 = 0 \quad (8.7)$$

Звідки

$$r = 0,38 \sqrt{S_6}.$$

Оскільки друга похідна

$$\frac{d^2V_{\delta}}{dr^2} = -6,48r,$$

тобто менше нуля, то точка екстремуму відповідає максимуму об'єму ( $V_{\delta max}$ ). А у зв'язку з тим, що функція (8.6) унімодальна, то значення  $r$  з формули (8.7) буде рішенням оптимізаційної задачі.

Висоту бункера при заданих значеннях поверхні  $S_{\delta}$  і радіусу  $r$  знаходимо з формули (8.4):

$$h_{\delta} = \frac{S_{\delta}}{2\pi r} - 0,36r \quad (8.8)$$

Про користь оптимізації можна судити з числового прикладу, що наведений у табл. 8.3.

Як видно з таблиці, при відхиленні від оптимального значення  $r_{opt}$  на 0,5 м об'єм бункера знижується на  $1,3 \text{ м}^3$ , що може суттєво впливати на функціональні та економічні показники виробничого процесу.

Таблиця 8.3.

Залежність об'єму циліндричного бункера від радіусу при  $S_{\delta} = 16 \text{ м}^2$

Радіус $r$ , м	Висота $h$ , м	Об'єм $V_{\delta}$ , $\text{м}^3$
1,00	2,19	6,86
1,52	1,13	8,16
2,00	0,55	6,88

Метод знаходження оптимуму з використанням похідних обмежується умовою диференційованості функції. Крім того, можливі випадки, коли функція  $f(x)$  включає члени з високими показниками степеня (вище трьох) і аналітичний розв'язок рівняння  $f'(x) = 0$  може бути ускладненим. В таких випадках використовуються наближені методи послідовного пошуку оптимуму, які спираються на числові методи розв'язку.

При застосуванні числових методів послідовного виключення інтервалів точка мінімуму (максимуму) знаходиться шляхом визначення і порівняння значень функцій  $f(x)$  у заданому інтервалі  $[a; b]$ , послідовного звуження інтервалу пошуку до знаходження оптимуму із заданою точністю або із заданим числом ітерацій.

Найбільш ефективним з точки зору простоти реалізації та процедури обчислень є пошук оптимуму методом «золотого перетину». Його суть розглянемо на графічному прикладі (рис. 8.3).

Попередньо встановлюється початковий інтервал  $[a; b]$ , в якому передбачається наявність мінімуму. Умовою застосування методу «золотого перетину» є унімодальність функції на заданому інтервалі.

Далі визначають значення  $f(x)$  у точках  $x^h_0 = a$  та  $x^g_0 = b$ , тобто початковий інтервал буде рівним  $x^g_0 - x^h_0 = L_0$ . Інтервал  $[a; b]$  поділяють на два відрізки в пропорції золотого перетину, при якій відношення цілого відрізка до його більшої частини дорівнює відношенню більшої частини до меншої, тобто

$$\frac{L_0}{L_{01}} = \frac{L_{01}}{L_{11}} \quad (8.9)$$

Прийнявши початковий інтервал  $L_0 = 1$ , а  $L_{01} = \tau$ , можемо записати:

$$\frac{1}{\tau} = \frac{\tau}{1 - \tau} \quad (8.10)$$

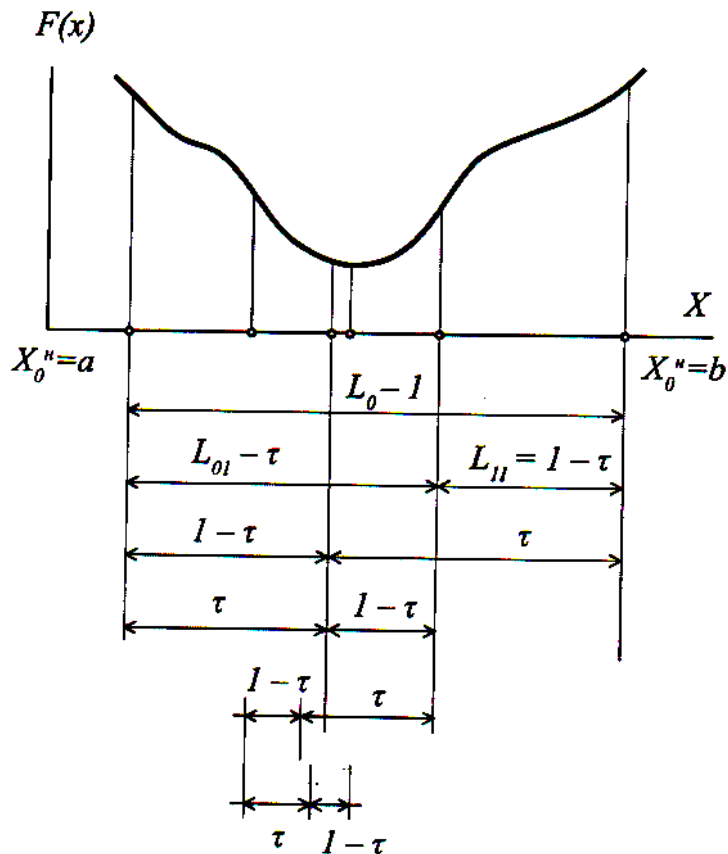


Рис. 8.3. Схема ітерацій при оптимізації методом «золотого перетину»

Додатнім коренем цього квадратного рівняння буде:

$$\tau = \frac{-1 + \sqrt{5}}{2} = 0,618$$

Отже, визначивши значення  $x_1$  та  $x_2$ , розраховують для них відповідні значення функції  $f(x_1)$  та  $f(x_2)$  і порівнюють їх з метою скорочення інтервалу пошуку: якщо  $f(x_1) < f(x_2)$ , то приймають новий інтервал  $(x_0^*, x_2)$ ; коли  $f(x_1) > f(x_2)$  приймають  $(x_2, x_0^*)$ .

Таким чином, на першому звуженні інтервалу виключається відрізок  $(l)$ . Наступні ітерації повторюють описані вище процедури визначення точок всередині інтервалу, порівняння значень функцій  $f(x_i)$  в цих точках і перехід до нового інтервалу (див. рис. 8.3). Остання ітерація встановлюється або виходячи із заданого числа наближень, або з відносної точності значення функції  $f(x^*)$ . Часто буває доцільно застосовувати обидва критерії одночасно.

Метод «золотого перетину» набув широкого застосування через простий, і ефективний алгоритм пошуку оптимуму, зручності його реалізації на ЕОМ.

При пошуках оптимуму функцій з однією змінною часто зручніше замість аналітичного розв'язку побудувати графік функції і знайти значення аргументу, яке відповідає мінімуму або максимуму функції. У таких випадках можна встановити оптимум для функцій дискретних і з розривами, а також при порушенні умови унімодалності. У більшості випадків неточності, що притаманні графічним методам, знаходяться в допустимих для прийняття інженерних рішень межах.

## Лекція № 9.

### ЗАСТОСУВАННЯ ТЕОРІЇ МАСОВОГО ОБСЛУГОВУВАННЯ У ПРИЙНЯТТІ ІНЖЕНЕРНИХ РІШЕНЬ

Питання:

- Застосування теорії масового обслуговування у прийнятті інженерних рішень;
- Вибір стратегій з різним ступенем ризику;
- Формування альтернативних варіантів рішень і багатокритеріальний вибір.

### ЗАСТОСУВАННЯ ТЕОРІЇ МАСОВОГО ОБСЛУГОВУВАННЯ У ПРИЙНЯТТІ ІНЖЕНЕРНИХ РІШЕНЬ

Значну частину інженерних задач можна вирішувати із застосуванням теорії масового обслуговування, яка є складовою частиною теорії ймовірностей.

Система масового обслуговування (СМО) призначена для обслуговування тих чи інших замовлень (вимог), що надходять у випадкові моменти часу, причому тривалість обслуговування також має випадковий характер. Тобто є невизначеність умов, що пов'язана з кількістю замовлень за певний проміжок часу. У сфері машиновикористання до СМО можна віднести пункти ТО, паливно-заправні станції, транспортні засоби для обслуговування виробничих процесів та багато інших виробничих систем (табл. 9.1).

Таблиця 9.1.

Приклади СМО у сфері машиновикористання

Джерело потоку замовлень	Вид обслуговування	Канал обслуговування
Комбайн	Транспортування врожаю	Транспортний засіб
Транспортний засіб	Навантаження (розвантаження)	Навантажувач
Автомобіль, трактор	Заправка паливом	Заправна колонка
Технічний засіб	Діагностування	Робоче місце діагноста

Процес роботи СМО характеризується дискретними станами, які змінюються у випадкові моменти часу стрибкоподібно з появою певних подій (надходження замовлення на обслуговування, закінчення обслуговування, вихід з черги). За допомогою методів теорії масового обслуговування визначають імовірність різних станів СМО, а також встановлюють показники залежності ефективності системи від параметрів і умов роботи (число каналів, пропускна здатність, характер потоку замовлень). Залежно від поставленої мети показниками функціональної ефективності роботи СМО можуть бути такі величини: абсолютна або відносна пропускна здатність, середнє число зайнятих каналів, середнє число замовлень у черзі, середній час очікування обслуговування та інші.

Основними характеристиками СМО є інтенсивність потоку вимог на обслуговування (поток замовлень)  $X$ , яка виражається числом замовлень, що надходять за одиницю часу, а також інтенсивність обслуговування, яка є оберненою величиною часу обслуговування ( $t_{обсл}$ ), тобто:

$$\mu = 1/t_{обсл} \quad (9.1)$$

Важливим параметром у розрахунках є відношення інтенсивності потоку вимог до інтенсивності обслуговування:

$$\rho = \lambda/v. \quad (9.2)$$

Воно відображає середнє число замовлень, що надходить за час обслуговування одного замовлення. Це означає, що для усталеного режиму роботи одноканальної СМО повинна дотримуватись умова  $\rho < 1$ , а багатоканальної —  $\rho < n$  ( $n$  — кількість каналів).

У теорії масового обслуговування важливе значення має поняття *найпростішого потоку* однорідних подій. Йому притаманні властивості стаціонарності, ординарності та відсутності післядії.

*Стаціонарність* потоку означає незалежність його ймовірнісних характеристик від часу (наприклад, певного проміжку часу зміни). Реальні сільськогосподарські процеси не завжди мають цю властивість, бо на їх характеристики можуть впливати природні, організаційні та інші закономірності. Наприклад, вологість хлібної маси при збиранні зернових вранці та ввечері вища, ніж удень. Тому зростає час заповнення бункера і надходження вимог на розвантаження. Проте для практичного вирішення інженерних задач у більшості випадків порушеннями стаціонарності можна знехтувати.

*Ординарність* потоку означає, що ймовірність попадання на елементарний проміж часу  $M$  двох або більше подій незначна у порівнянні з імовірністю появи на цьому ж проміжку однієї події. Тобто події з'являються поодиночі, а не групами.

*Відсутність післядії* означає, що число подій в одному проміжку часу не залежить від числа подій у будь-якому іншому проміжку. Тобто замовлення надходять незалежно одне від одного.

Для найпростішого потоку з інтенсивністю інтервал між сусідніми подіями має показниковий розподіл з густиною ймовірностей:

$$f(t) = \lambda e^{-\lambda t} \quad (9.3)$$

а число подій у заданому інтервалі часу розподіляється за законом Пуасона:

$$P_m(t) = \frac{(\lambda t)^m}{m!} e^{-\lambda t} \quad (9.4)$$

де  $P_m(t)$  — імовірність того, що подія за час  $t$  відбудеться  $m$  разів.

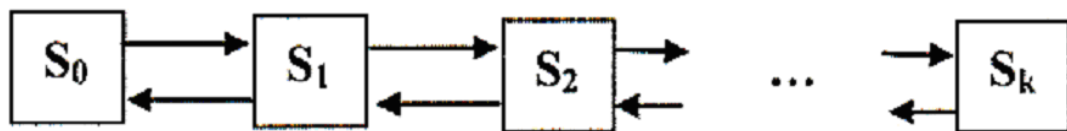


Рис. 9.1. Графік станів СМО

Багато випадкових потоків подій сільськогосподарських СМО можуть бути описані законом Пуасона (потоки відмов техніки, вимог на технологічне обслуговування тощо), що дозволяє застосовувати порівняно прості формули для розрахунку характеристик систем.

Існують різні типи СМО і відповідні математичні моделі. Якщо потік замовлень не залежить від стану СМО, то система називається *відкритою*. В іншому випадку вона буде *закритою*.

За числом каналів обслуговування СМО може бути *одно-* або *багатоканальною*. Можлива також різна дисципліна обслуговування: з відмовами, чергою, пріоритетами, обмеженою і необмеженою чергами, багатозафазове обслуговування та ін. Зупинимось лише на деяких характерних для сфери машиновикористання прикладах.



Для випадків, коли всі потоки випадкових подій є найпростішими, має місце так званий *марковський випадковий процес* із дискретними станами і неперервним часом. Математичні моделі таких процесів досить прості, а розрахунки можна виконати без застосування ЕОМ.

Розглянемо розрахунок імовірностей перебування системи в різних станах і характеристик ефективності на прикладі одноканальної СМО з необмеженою чергою і найпростішим потоком надходження заявок, інтенсивністю  $\rho$ . Час обслуговування має показниковий розподіл із параметром  $\mu$ .

Система може знаходитись у наступних станах (рис. 9.1):

$S_0$  — СМО не зайнята;

$S_1$  — канал СМО зайнятий і черга відсутня;

$S_2$  — канал зайнятий і одне замовлення в черзі;

.....

$S_k$  — канал зайнятий і  $(k-1)$  замовлення в черзі.

Фінальні (граничні) ймовірності станів існують при  $\rho < 1$  і виражаються формулами:

$$p_0 = 1 - \rho; \quad p_k = \rho^k (1 - \rho) \quad (9.5)$$

де  $k = (0, 1, 2, \dots)$  — кількість замовлень у системі.

Середнє число замовлень у СМО (тих, що обслуговуються та знаходяться в черзі):

$$\bar{z} = \rho / (1 - \rho) \quad (9.6)$$

Середнє число замовлень у черзі:

$$\bar{r} = \rho^2 / (1 - \rho) \quad (9.7)$$

Середній час перебування замовлення в системі:

$$\bar{t}_c = \rho / [\lambda(1 - \rho)] \quad (9.8)$$

Середній час перебування замовлення в черзі:

$$\bar{t}_q = \rho^2 / [\lambda(1 - \rho)] \quad (9.9)$$

### Приклад:

На пункт технічного обслуговування протягом восьмигодинного робочого дня надходить у середньому 2 трактори, тобто  $\lambda = 2/8 = 0,25 \text{ год}^{-1}$ . Середній час обслуговування одного трактора  $t_{\text{обсл}} = 2,5 \text{ год}$ , тобто  $\mu = 1/2,5 = 0,4 \text{ год}^{-1}$ . Необхідно визначити фінальні ймовірності станів системи і показники ефективності.

**Розв'язання:** Фінальні ймовірності існують, бо

$$\rho = \frac{\lambda}{\mu} = \frac{0,25}{0,40} = 0,625 < 1.$$

Ймовірність того, що система незайнята:

$$p_0 = 1 - \rho = 1 - 0,625 = 0,375.$$

Показники ефективності СМО (формули 9.6-9.9):

$$\bar{z} = \frac{0,625}{1 - 0,625} = 1,67; \quad \bar{r} = \frac{0,625^2}{1 - 0,625} = 1,04;$$

$$\bar{t}_c = \frac{0,625}{0,25(1 - 0,625)} = 6,67 \text{ год}; \quad \bar{t}_q = \frac{0,625^2}{0,25(1 - 0,625)} = 4,17 \text{ год}.$$

Звернемо увагу на, здавалося б, парадоксальні результати: пункт ТО начебто недовантажений, бо  $p_0 = 0,375$ , але на ньому в середньому 1 трактор знаходиться в черзі. Це пояснюється нерівномірністю надходження тракторів на обслуговування, тобто ймовірнісним характером надходження замовлень. Такий аналіз із врахуванням економічних факторів дозволяє приймати рішення про доцільність підвищення пропускної здатності СМО.

Багатоканальна СМО має декілька каналів, що обслуговують паралельно і незалежно один від одного. Якщо в момент надходження замовлення хоча б один із каналів є незайнятим, то замовлення зразу ж обслуговується. Якщо всі канали зайняті, то замовлення ставиться в чергу.

Станами такої СМО є:

- СМО незайнята;
- зайнято  $k$  каналів ( $1 \leq k \leq n$ );
- зайняті всі  $n$  каналів;
- зайняті  $n$  каналів і  $r$  замовлень знаходяться в черзі.

Для таких систем при необмеженій черзі задають характеристики а також параметр. Фінальні ймовірності існують і визначаються за формулами:

$$p_0 = \left\{ 1 + \frac{\rho}{1!} + \dots + \frac{\rho^n}{n!} + \frac{\rho^{n+1}}{n \cdot n!} \frac{1}{1 - \chi} \right\}^{-1},$$

$$p_k = \frac{\rho^k}{k!} p_0 \text{ при } (1 \leq k \leq n); \quad p_{n+r} = \frac{\rho^{n+r}}{n^r \cdot n!} \cdot p_0 \text{ при } (r \geq 1) \quad (9.10)$$

Характеристики ефективності багатоканальної СМО з необмеженою чергою:

$$\bar{r} = \chi p_n / (1 - \chi)^2; \quad \bar{z} = \bar{r} + \rho; \quad \bar{t}_c = \bar{z} / \lambda; \quad \bar{t}_q = \bar{r} / \lambda \quad (9.11)$$

Прикладами СМО такого типу є паливно-заправні станції з колонками, група автомобілів (канали обслуговування), що здійснюють транспортування врожаю від збиральних машин, майстри-наладники, коли вони працюють паралельно.

Застосування математичних моделей дозволяє обґрунтувати раціональне число каналів обслуговування, визначити потенційні можливості СМО і резерви підвищення показників ефективності.

Найбільші труднощі при моделюванні СМО виникають при встановленні характеру потоку подій та його параметрів. Хоча в багатьох випадках реальні потоки подій відхиляються від найпростішого, все ж його застосування може бути корисним для наближеного моделювання роботи СМО та прийняття раціональних рішень. При цьому можна досягти значного економічного ефекту.

## ВИБІР СТРАТЕГІЙ З РІЗНИМ СТУПЕНЕМ РИЗИКУ

При невизначеності умов повне усунення ризику в прийнятті рішень є, як правило, економічно не вигідним, якщо йдеться про певні матеріальні збитки. Адже запобіжні та компенсаційні заходи часто вимагають додаткових затрат ресурсів або вибору такої обережної стратегії, яка пов'язана з порівняно низькими кінцевими результатами. Тому потрібно відрізнити розумний ризик від ризику азартного гравця (все або нічого).

Розглянемо вибір раціональної стратегії в умовах відсутності цілеспрямованої протидії особі, що приймає рішення (ОПР). Такі задачі розглядаються теорією статистичних рішень і називаються інколи «грою з природою». Роль природи в даному випадку можуть виконувати як реальні природні фактори, так і інші підприємства, партнери, дії яких невідомі ОПР і залежать від об'єктивних факторів, а не від суперечності інтересів.

Математична модель рішення задач з невизначеністю дій називається грою, а супротивників прийнято називати гравцями. Кожен гравець має можливість вибору варіанту своїх дій залежно від ситуації. Якщо в моделі невизначеність можливих ситуацій пов'язана з реальною природою, то її наділяють властивостями також вибирати свої дії.

Стратегією гравця називають сукупність правил, що однозначно задають вибір варіанту дій відповідно до ситуації.

Умови гри можуть бути задані в матричній формі (табл. 9.2), де рядки  $A_i$  відповідають можливим стратегіям гравця А, а стовпчики  $B_j$  — стратегіям гравця В (або станам природи). Результат для кожного поєднання  $A_i$  та  $B_j$  записують у матрицю на перетині відповідних рядків і стовпчиків.

Стратегія ОПР визначається вибором одного з критеріїв, яким властива різна ступінь ризику.

Таблиця 9.2.

Матрична форма умов гри

		$B_j$			
		$B_1$	$B_2$	...	$B_n$
$P$	$A_1$	$a_{11}$	$a_{12}$	...	$a_{1n}$
	$A_2$	$a_{21}$	$a_{22}$	...	$a_{2n}$
	...	...	...	...	...
	$A_m$	$a_{m1}$	$a_{m2}$	...	$a_{mn}$

Критерій Лапласа базується на допущенні рівномірної появи ситуації  $B_j$ . Тому обирають таку стратегію, яка дає найкращий очікуваний результат (найбільший виграш або найменший програвш), тобто:

$$A = \begin{cases} \max \left\{ \frac{1}{n} \sum_{j=1}^n a_{ij} \right\}, & \text{якщо } a_{ij} \text{ — виграш;} \\ \min \left\{ \frac{1}{n} \sum_{j=1}^n a_{ij} \right\}, & \text{якщо } a_{ij} \text{ — втрати.} \end{cases} \quad (9.12)$$

### Приклад:

Транспортний загін повинен забезпечити вивезення вантажів із залізничної станції. Точна кількість поданих під розвантаження вагонів невідома, але передбачається, що їх може бути до чотирьох ( $B_j = 1, 2, 3$  або  $4$ ). Відповідно, можна виділити чотири варіанти складу транспортних засобів ( $A_i = 1, 2, 3, 4$ ). При цьому додаткові затрати (втрати) можуть бути або внаслідок перевищення кількості транспортних засобів над потребою, або через їх недостачу. Ці втрати наведені в матриці на перетині  $i$ -го рядка та  $j$ -го стовпчика ( $a_{ij}$ ). Очікувані втрати (програші) підраховують за попередньою формулою:

$$П(A_1) = \frac{1}{4}(5 + 10 + 25 + 48) = 22$$

Відповідно

$$П(A_2) = 12; П(A_3) = 13,5; П(A_4) = 20,5.$$

Матриця втрат (тис. грн)

$A_i$	$B_j$			
	$B_1$	$B_2$	$B_3$	$B_4$
$A_1$	5	10	25	48
$A_2$	8	6	12	22
$A_3$	18	12	8	16
$A_4$	30	24	17	11

Таким чином, за критерієм Лапласа кращою буде стратегія  $A$ , яка забезпечує найменшу очікувану величину втрат.

*Мінімаксий (максимінний) критерій*, або критерій Вальда, базується на виборі такої стратегії, щоб у найгіршій ситуації отримати максимально можливий результат. Якщо результати представлені як втрати, то критерій має вигляд мінімаксу:

$$A = \min_i \max_j \{a_{ij}\} \quad (9.13)$$

Якщо ж  $a_{ij}$  є виграшем, то критерій буде у вигляді максиміну:

$$A = \max_j \min_i \{a_{ij}\} \quad (9.14)$$

### Приклад:

Продовжимо розгляд попереднього прикладу, виписавши в окремий стовпчик максимальні значення втрат для кожного рядка.

Матриця втрат (тис. грн)

$A_i$	$B_j$				$\max \{a_{ij}\}$
	$B_1$	$B_2$	$B_3$	$B_4$	
$A_1$	5	10	25	48	48
$A_2$	8	6	12	22	22
$A_3$	18	12	8	16	18
$A_4$	30	24	17	11	30

Згідно з критерієм мінімаксу вибираємо стратегію  $A_3$ , бо вона забезпечує мінімальне значення втрат із максимально можливих.

Мінімаксий (максимінний) критерій є найбільш обережним, або песимістичним. Його вибір означає, що ОПР сподівається отримати деякий гарантований результат у найбільш несприятливих умовах. При цьому можуть бути пропущені значно ефективніші стратегії, але з більшим ступенем ризику.

Менш песимістичним є *критерій Севіджа*. У цьому випадку мірою для порівняння різних стратегій приймають різницю  $r_{ij}$  між найкращим значенням результату в стовпчику і поточним значенням  $a_{ij}$  в цьому ж стовпчику:

$$r_{ij} = \begin{cases} \max \{a_{kj}\} - a_{ij}, & \text{якщо } a_{ij} \text{ - виграш;} \\ a_{ij} - \min \{a_{kj}\}, & \text{якщо } a_{ij} \text{ - втрати.} \end{cases} \quad (9.15)$$

де  $a_{kj}$  — найкращий результат у стовпчику, що відповідає  $A_k$  - стратегії.

Склавши матрицю різниць  $r_{ij}$ , далі використовують мінімаксий критерій для вибору стратегії:

$$A = \min_i \max_j \{r_{ij}\} \quad (9.16)$$

#### Приклад:

Складемо за даними попереднього прикладу матрицю різниць.

Матриця різниць  $r_{ij}$

$A_i$	$B_j$				$\max \{a_{ij}\}$
	$B_1$	$B_2$	$B_3$	$B_4$	
$A_1$	0	4	17	37	37
$A_2$	3	0	4	11	11
$A_3$	13	12	0	5	13
$A_4$	25	24	5	0	25

Відповідно до критерію мінімаксу кращою буде стратегія  $A_2$  бо вона забезпечує мінімальну з найбільших різниць  $r_{ij}$ .

Матриця різниць незалежно від характеру результатів  $a_{ij}$  (виграші чи програші) відображає ніби міру невдоволення ОПР із приводу вибору не самого кращого рішення. Тобто це завжди матриця втрат і тому вибір стратегії здійснюється за критерієм мінімаксу.

*Критерій Гурвиця* зважає варіанти дій від крайнього песимізму ДО крайнього оптимізму і надає можливість ОПР приймати на цьому проміжку рішення, що відповідало б його оцінці ситуації.

Якщо результати  $a_{ij}$  в матриці характеризують виграші (прибутки), то критерій має вигляд:

$$A = \min_i \left\{ \alpha \max_j a_{ij} + (1 - \alpha) \min_j a_{ij} \right\} \quad (9.17)$$

Якщо  $a_{ij}$  є затратами (втратами), то:

$$A = \max_i \left\{ \alpha \min_j a_{ij} + (1 - \alpha) \max_j a_{ij} \right\} \quad (9.18)$$

де  $\alpha$  — ваговий коефіцієнт, що характеризує рівень ризику ОПР.

При  $\alpha = 1$  (крайній оптимізм) вибирають стратегію, яка містить можливість максимального виграшу (або мінімальних втрат). При  $\alpha = 0$  (крайній песимізм) критерій Гурвиця вироджується в критерій Вальда.

Очевидно, що чим ситуація вважається небезпечнішою, тим меншим повинен бути ризик, тобто  $\alpha$  наближається до нуля. При відсутності чіткої уяви про допустимий ризик приймають  $\alpha = 0$ .

### Приклад:

Продовжимо використання даних першого прикладу для вибору стратегії за критерієм Гурвиця, приймаючи  $\alpha = 0,8$ .

**Вибір стратегії за критерієм Гурвиця при  $\alpha = 0,8$ .**

$A_i$	$\min\{a_{ij}\}$	$\max\{a_{ij}\}$	$0,8 \cdot \min\{a_{ij}\} + 0,2 \cdot \max\{a_{ij}\}$
$A_1$	5	48	13,6
$A_2$	6	24	96
$A_3$	8	18	100
$A_4$	11	30	148

У даному випадку ефективною вважається стратегія  $A_2$ .

Якщо ж прийняти  $\alpha = 1$ , то вибрати слід стратегію  $A_1$  як таку, що має найменші втрати ( $a_{11} = 5$ ). Проте при цьому існує ймовірність отримати й максимальні втрати ( $a_{14} = 48$ ).

Критерій Гурвиця можна також застосувати для матриці різниць. У цьому випадку для розрахунків застосовують останній вираз, бо  $r_{ij}$  характеризує можливі втрати.

Наведені приклади мають невизначеність умов пасивного до ОПР характеру. Такого типу задачі часто зустрічаються в інженерній практиці, причому розміри виграшів (або втрат) можуть становити великі суми. Так, при закупівлі техніки може виникнути необхідність вибору між дорогими машинами (Дон-1500, «Полісся») і більш дешевими. При цьому можливі ситуації, коли додаткові затрати окупаються або не окупаються. Ці ситуації важливо чітко визначити. Наприклад: урожай високий — літо сухе, урожай високий — літо дощове, урожай низький — літо сухе, урожай низький — літо дощове. Щоб у матриці задати конкретні значення результатів  $a_{ij}$  потрібно встановити очікувані (або граничні) значення врожайності та коефіцієнтів погодності. Звичайно, в таких умовах можна отримати лише орієнтири, які все ж значно допомагають прийняти раціональне рішення.

Якщо приймають рішення в умовах, коли гравці (суперники) мають протилежні цілі (виграш одного можливий лише за рахунок програшу іншого), то спостерігається граничний ступінь невизначеності. Задачі такого типу належать до класу антагоністичних ігор. В інженерній практиці вони зустрічаються рідко.

Інколи до антагоністичних ситуацій відносять протидію природи як розумну і цілеспрямовану поведінку суперника. Такий підхід дозволяє приймати рішення з урахуванням найбільш несприятливих обставин. Якщо ж умови будуть кращі ніж ті, на які розраховувала ОПР, то і виграш буде більшим. Розглянемо гранично спрощений методичний приклад.

### Приклад:

Орендарю потрібно зібрати з площі 100 га пшеницю. Необхідно прийняти рішення про вибір раціонального способу збирання, який забезпечив би мінімальні втрати врожаю з урахуванням можливих погодних умов. ОПР має дві чисті стратегії:

пряме комбайнування (П) і роздільне збирання (Р). Можлива також комбінація цих методів (змішана стратегія). Природа як розумний суперник також має дві чисті стратегії: створити суху погоду (С) або дощову (Д).

Складаємо матрицю втрат у грошовому виразі від недобору потенційно вирощеного врожаю і зниження його якості.

**Матриця втрат при збиранні врожаю (тис. грн)**

$A$	$B_1 = C$	$B_2 = D$
$A_1 = \text{П}$	5	10
$A_2 = \text{Р}$	2	15

У тих випадках, коли про можливу поведінку суперника немає ніякої інформації, то використовують переважно песимістичний критерій: мінімаксу — для втрат, максиміну — для вигравів. У нашому прикладі за критерієм мінімаксу вибирають пряме комбайнування (стратегія  $A_1$ ), яке забезпечує мінімум втрат у максимально несприятливих умовах ( $a_{12} = 10$  тис. грн).

Графічно цю задачу можна вирішити, якщо припустити, що втрати лінійно залежать від стану погоди (рис. 9.2 а). На осі абсцис відкладають імовірність дощової погоди  $P$ , що дозволяє вибрати раціональну стратегію для деякої наперед заданої її ймовірності.

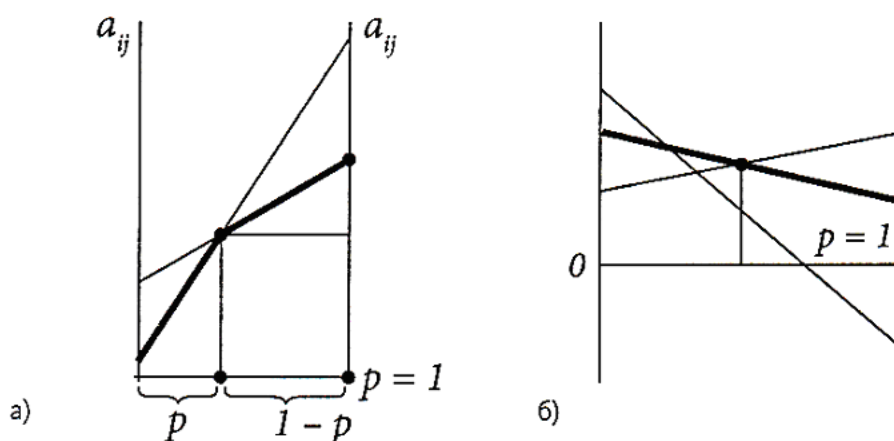


Рис. 9.2. Графічне рішення ігор типу  $2 \times n$  (а) і  $m \times n$  (б)

Графічне вирішення зручно застосовувати у випадках, коли хоча б один гравець має дві стратегії, тобто гра буде типу  $2 \times n$  або  $m \times n$  (рис. 9.2 б). При цьому можуть бути встановлені і ймовірності раціонального поєднання стратегій (змішані стратегії).

При вирішенні задач з неповною інформацією найбільші труднощі виникають при складанні матриці, тобто конкретизації ситуацій і визначенні можливих результатів  $a_{ij}$ .

Для цього бажано мати статистичні дані. При наявності АРМ інженера необхідні для прийняття рішень дані можуть постійно накопичуватись і уточнятись. Проте навіть за умови відсутності статистичних даних у багатьох випадках аналіз можливих результатів з використанням різних критеріїв дає корисні орієнтири для прийняття рішень.

## ФОРМУВАННЯ АЛЬТЕРНАТИВНИХ ВАРІАНТІВ РІШЕНЬ І БАГАТОКРИТЕРІАЛЬНИЙ ВИБІР

Системний підхід часто викликає необхідність формування множини альтернативних варіантів рішення і застосування декількох критеріїв для оцінки і вибору кращого варіанту. Це обумовлено тим, що дерево цілей на нижньому рівні може мати низку цілей, що не зводяться до однієї (наприклад, підвищити продуктивність і показник екологічності робіт). Крім того, кожна ціль може бути досягнута різними засобами.

Багатокритеріальність проявляється особливо чітко при розробці та реалізації дорогих проектів (інженерно-технічний комплекс, технологічні комплекси, станція ТО та ін.). У таких випадках потрібно враховувати не менше чотирьох узагальнених

критеріїв, а саме: корисність (функціональні критерії), сукупна вартість (економічні критерії), строк реалізації та освоєння (часові критерії), екологічність і техніка безпеки (наслідки).

Проблема полягає в тому, що кожен із узагальнених критеріїв досягає свого кращого значення при різних поєднаннях характеристик системи. Можлива також наявність суперечливих критеріїв, коли зміна характеристик системи з метою покращення одного з них викликає погіршення іншого. Побудова єдиної шкали для оцінки всієї сукупності критеріїв, що мають різний фізичний зміст, викликає значні труднощі.

У загальному вигляді математична модель (ММ) багатокритеріальної задачі описується виразом:

$$MM = \langle \eta, S, U, L, H, \varphi \rangle, \quad (9.19)$$

де — тип багатокритеріальної задачі (оптимізація, ранжування, вибір);

$S$  — множина варіантів характеристик системи, що оцінюється;

$U$  — множина критеріїв, за якими оцінюється система;

$L$  — шкала оцінок по кожному критерію;

$H$  — система пріоритетів ОПР на множині варіантів  $S$ ;

— правило вирішення, яке на множині варіантів  $S$  задає відношення переваги відповідно до системи пріоритетів  $H$ .

Для пошуку кращого рішення необхідно множину варіантів  $S$  представити у просторі критеріїв  $U$  зі шкалами оцінок  $L$  і відповідно до правила вирішення впорядкувати цю множину, використовуючи систему пріоритетів  $H$ . Найскладнішим етапом побудови моделі є встановлення правила вирішення.

У методах розв'язку багатокритеріальних задач можна виділити два напрямки: оптимізація і вибір, які відрізняються насамперед правилом вирішення.

Оптимізаційні методи застосовують у тих випадках, коли вдається окремі критерії звести до одного узагальненого (інтегрального). В цьому випадку правилом вирішення будуть детерміновані методи оптимізації функцій з багатьма змінними. Інтегральний критерій може бути адитивним, мультиплікативним або мультиадитивним (комбінованим). Основні труднощі цієї групи методів пов'язані з побудовою представницького інтегрального критерію, визначенням вагових коефіцієнтів окремих критеріїв, що входять в узагальнений, забезпеченням чутливості багатофакторної моделі, великою розмірністю моделей та ін. Тому методи багатомірної оптимізації доцільно застосовувати для вирішення разових задач перспективного планування.

У повсякденній інженерній діяльності частіше застосовують методи багатокритеріального вибору рішення із множини можливих варіантів. При цьому істотно зростає роль ОПР і його системи цінностей. Вона проявляється, перш за все, на стадіях формування вихідної множини альтернативних варіантів (ВМА), вибору критеріїв і міри їх значущості, багатокритеріальної оцінки і прийняття рішення. Ефективність рішень безпосередньо залежить від професійного рівня ОПР, його вміння



застосовувати сучасні методи і прийоми аналізу та синтезу рішень за декількома критеріями.

Для полегшення процедури вибору рішення важливо гранично зменшити число альтернативних варіантів. При формуванні ВМА широко застосовується метод Парето, який дозволяє виділити ефективні варіанти з урахуванням всіх критеріїв. Для знаходження ефективних (Парето-оптимальних) варіантів застосовують принцип домінування.

Нехай варіанти, що порівнюються, оцінюються вектором критеріїв:

$$u = \{u_1, u_2, \dots, u_n\}, u_i \in U, i = 1, \dots, n.$$

Тоді варіант  $A$  домінує над варіантом  $B$  ( $A \succ B$ ) якщо кожен з критеріїв  $u_i$  переважає або еквівалентний до відповідних критеріїв  $u_i^B$ , причому хоча б для одного з них справедлива строга перевага ( $u_i^A > u_i^B$ ). Знак переваги ( $\succ$ ) відображає систему  $H$  пріоритетів ОПР. Якщо критерій  $u_i$  виражений кількісно і покращення варіанту відповідає його збільшенню, то знак переваги відповідає знаку «більше» ( $u_i^A > u_i^B$ ). Якщо покращення варіанту відповідає зменшенню кількісно вираженого критерію  $u_i$ , — знаку менше ( $u_i^A < u_i^B$ ). Крім того, від може застосовуватись і до критеріїв, що не мають кількісного виразу, але входять до системи цінностей ОПР (естетичні характеристики, техніка безпеки тощо). Отже, знак переваги ( $\succ$ ) є універсальним щодо оцінки властивостей об'єкта.

Суть сказаного розглянемо на конкретному прикладі з двома критеріями, який дозволяє привести графічне зображення варіантів на площині.

### Приклад:

Із множини можливих агрегатів для внесення мінеральних добрив потрібно виділити Парето-оптимальні варіанти за критеріями продуктивності ( $W$ ) і паливної економічності ( $G$ ). Бажано, щоб пошук кращих варіантів зводився до максимізації (або мінімізації) обох критеріїв. Тому для оцінки паливної економічності приймемо величину, що обернена до погектарної витрати палива  $G$ . Тобто це буде площа, яку обробить МТА, витративши 1 л палива. Вихідні дані для прямої схеми внесення добрив наведені в таблиці 9.3, а реалізація варіантів в просторі критеріїв  $W$  і  $F_q$  — на рис. 9.3.

Таблиця 9.3

Вихідні дані для порівняння МТА

Варіант	Склад МТА	$W_p$ , га/год	$F_q$ , га/кг
1	Т-150К + МВУ-8Б	7,0	0,31
2	МТЗ-80 + 1РМГ-4	5,1	0,71
3	МТЗ-80 + СТТ-10	6,5	0,71
4	МТЗ-80 + СП-11 + 2РТТ-4,2	4,1	0,67
5	МТЗ-80 + МВУ-0,5	4,9	0,55
6	ЮМЗ-6Л + 1РМГ-4	4,0	0,55
7	ЮМЗ-6Л + СП-11 + 2РТТ-4,2	3,9	0,91
8	ЮМЗ-6Л + МВУ-0,5	4,5	0,53
9	Т-40М + МВУ-0,5	4,1	1,00
10	Т-40М + РТТ-4,2	2,6	0,59
11	Т-25А + МВУ-0,5	2,4	1,35
12	Т-25А + РТТ-4,2	2,3	1,00

Відповідно до принципу домінування виділимо кращі варіанти, прийнявши за початковий варіант  $S_{10}$

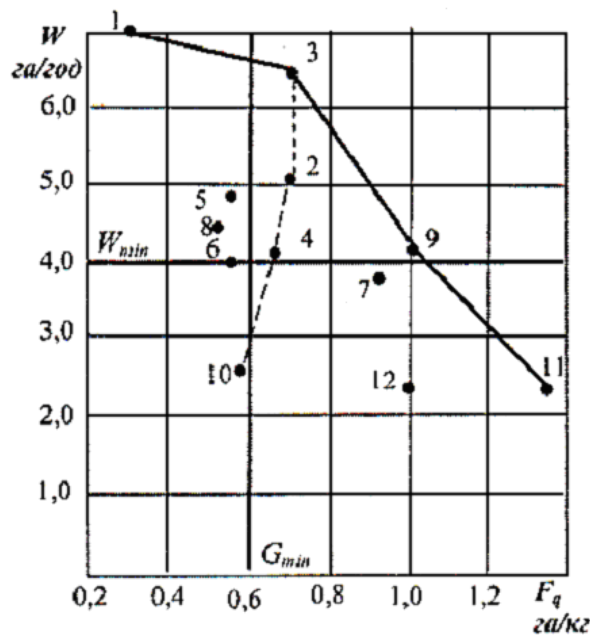


Рис. 9.3. Приклад побудови ефективної границі (множини Парето) при двох критеріях за даними таблиці 9.3

Тоді варіант  $S_4$  домінує над  $S_{10}$  ( $S_4 | S_{10}$ ), бо  $W_4 > W_{10}$  і  $F_{q4} > F_{q10}$  варіант  $S_2$  домінує над  $S_4$  ( $S_2 | S_4$ ), бо  $W_2 > W_4$  і  $F_{q2} < F_{q4}$  варіант  $S_3$  домінує над  $S_2$  ( $S_3 | S_2$ ), бо  $W_3 > W_2$  при  $F_{q3} < F_{q2}$

Отже, ряд домінування має вигляд  $S_3 | S_2 | S_4 | S_{10}$ . У множині варіантів можуть бути і такі, що не домінують над іншими, але й над ними немає домінуючого варіанту. Для нашого прикладу таким буде варіант  $S_1$  бо хоча він і є найпродуктивнішим, але поступається всім іншим за паливною економічністю.

Метод аналізу Парето дозволяє вийти на ефективну границю, яка об'єднує варіанти, що домінують над іншими і не мають домінування над собою. Варіанти, що лежать на ефективній границі, називаються Парето-оптимальними. Для наведеного прикладу на ефективній границі лежать варіанти  $S_1$ ,  $S_3$ ,  $S_9$ , і  $S_{11}$ . Зменшити число варіантів ВМА можна введенням обмежень на гранично допустимі значення критеріїв. Так, обмеживши мінімальне значення продуктивності  $W_{min} = 4$  га/год і виробітку на одиницю витраченого палива  $F_{qmin} = 0,6$  га/кг, ОПР може звести задачу до вибору одного з двох варіантів ( $S_3$  і  $S_9$ ).

Метод Парето може застосовуватись і для більшого числа критеріїв, особливо при застосуванні комп'ютерів.

## Література

### Базова література

1. Нагірний Ю.П. Аналіз технологічних систем і обґрунтування рішень : практикум. Кам'янець-Подільський : О.В. Сисин ; Абетка, 2013. 293 с.
2. Теорія технічних систем : підручник / І. В. Севостьянов. Вінниця: ВНТУ, 2014. 181 с. URL: <http://surl.li/uqylx>
3. Основи теорії систем і системного аналізу : навч. посібник / К. О. Сорока. Харків : ХНАМГ, 2004. 291 с. URL: <http://surl.li/uqyma>
4. Богданова Л. М., Аносов В. Л. Моделювання технологічних систем механічної обробки деталей : монографія. Краматорськ : ЦТРІ «Друкарський дім», 2018. 175 с.
5. Севостьянов І. В. Теорія технічних систем : підручник. Вінниця: ВНТУ, 2021. 181 с.
6. Прокопенко Т. О. Теорія систем і системний аналіз : навч. посібн. Черкаси : ЧДТУ, 2019. 139 с. URL : <http://surl.li/uqymm>
7. Сапожніков С. В. Створення та вдосконалення технічних систем : конспект лекцій. Суми : СумДУ, 2019. 148 с. URL: <http://essuir.sumdu.edu.ua/handle/123456789/72573>.

### Допоміжна література

1. Методичні вказівки до виконання практичних робіт з курсу «Аналіз технологічних систем» для студентів спец. 133 «Галузеве машинобудування», 208 «Агроінженерія» / уклад. Д. В. Богатирьов. Кропивницький: ЦНТУ, 2020. 63 с.
2. Методичні вказівки до самостійної роботи з курсу «Аналіз технологічних систем» для студентів спец. 133 «Галузеве машинобудування», 208 «Агроінженерія» / уклад. Д. В. Богатирьов. Кропивницький: ЦНТУ, 2020. 38 с.

Навчальне видання

## **Аналіз технологічних систем**

методичні рекомендації

Укладач: **Сидорика** Ігор Миколайович

Формат 60x84 1/16. Ум. друк. арк. 5,75.

Тираж 20 прим. Зам. № \_\_\_\_\_

Надруковано у видавничому відділі  
Миколаївського національного університету  
54020, м. Миколаїв, вул. Георгія Гонгадзе, 9

Свідоцтво суб'єкта видавничої справи ДК № 4490 від 20.02.2013 р.