Лекція 6
Обґрунтування стратегій і прогнозування в інженерній справі

Метою лекції є засвоювання методів і стратегій прогнозування в інженерній справі, вміти виконувати резервування технічних засобів .

План лекції

1 Вибір стратегій із різним ступенем ризику

2 Загальна модель багатокритеріальної задачі

3 Резервування технічних засобів

4 Прогнозування в інженерній діяльності

Опис питань

1 Вибір стратегій із різним ступенем ризику

Практичне застосування методів теорії ймовірностей для обгрунтування інженерних рішень можливе при побудові порівняно простих моделей. Як зазначалось раніше, найпростішим способом є введення в модель прийняття рішень середніх значень (математичного сподівання) випадкових величин. Такий прийом є доцільним, якщо розсіювання випадкової величини відносно середнього значення є невеликим і при багаторазовому повторюванні даного стану системи.

Наприклад, час технологічного обслуговування агрегатів, змінний виробіток, робоча швидкість у конкретних виробничих умовах мають певну статистичну стабільність і можуть бути задані середніми значеннями.

Проте в багатьох випадках для прийняття раціонального рішення потрібно знати не лише математичне сподівання випадкової величини, але й міру її розсіювання (дисперсію, середньоквадратичне відхилення, ступінь нерівномірності, коефіцієнт варіації).

У машиновикористанні ймовірнісні характеристики функціонування систем важливо враховувати при обгрунтуванні потреби в техніці, виборі раціональної технологічної схеми виробничого процесу, визначенні пропускної здатності об'єктів обслуговування (заправок, пунктів ТО і т. п.).

При обгрунтуванні рішень часто використовують опосередковані методи знаходження ймовірностей, коли ймовірність даної події визначається через імовірності подій, що пов'язані з даною. Для цього застосовують правила алгебри подій *.

Системний підхід до обґрунтування рішень часто викликає необхідність застосовувати для оцінки альтернативних варіантів декілька критеріїв. Це обумовлено тим, що дерево цілей на нижньому рівні може мати ряд цілей, що не зводяться до однієї (наприклад, підвищити продуктивність і

показник екологічності робіт). Крім того, кожна ціль може характеризуватись кількома частковими критеріями.

2 Загальна модель багатокритеріальної задачі

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: *корисність* (функціональні критерії) , сукупна *вартість, строк реалізації та освоєння, екологічність* і *техніка безпеки.*

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:

$$ММ = \langle \eta, S, U, L, H, \varphi \rangle,$$

де η —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; φ — 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 φ впорядкувати цю множину, використовуючи систему пріоритетів H. Найскладнішим етапом побудови моделі є встановлення правила вирішення φ.

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* рішеня 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.

Розглядались деякі прийоми двокритеріального вибору, з яких можна зробити висновок про важливість зменшення числа альтернативних варіантів до гранично можливих меж. Це значно полегшує наступний аналіз і порівняння варіантів.

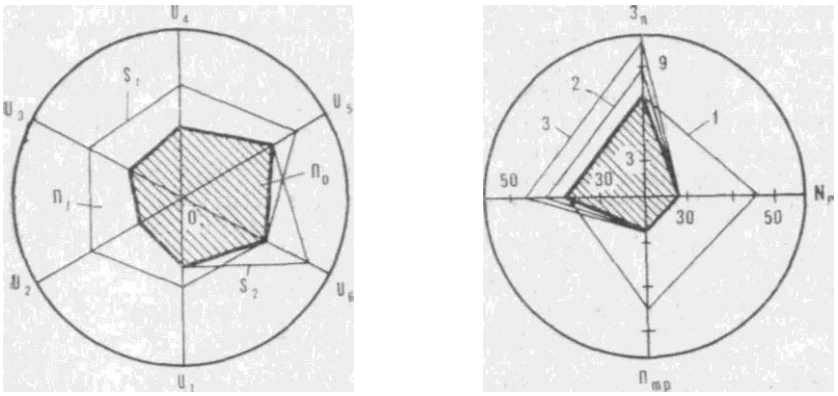
Визначення ефективної границі ще не дає ОПР єдиного рішення, хоча дозволяє значно зменшити число варіантів і спростити їх наступний аналіз. Для прийняття остаточного рішення потрібно задати додаткову інформацію п£9_гіг>іщ)итети або правило вирішення.

Один із простих методів багатокритеріального вибору полягає в застосуванні інтегрального *критерію відстані до цілі.* Його суть в обгрунтуванні *ідеалу* та оцінці міри, наближення до нього кожного з варіантів *ВМ.А.*

Ідеальний варіант характеризує таку систему, для якої кожен із критеріїв досягає свого потенційно можливого найкращого значення. Такі значення можуть бути обгрунтовані теоретично або відповідати кращій реально досягнутій величині.

Практичне застосування методу зручно пояснити на графічній моделі Для варіантів ВМА визначають критерії *Ui* і відкладають їх на радіально розташованих шкалах. Шкали будують таким чином, щоб покращення критерію йшло до центру (точка 0). З'єднуючи точки на шкалах для /-го варіанту, отримують багатокутник. На кращих значеннях критеріїв будують багатокутник ідеалізованого варіанту. Узагальнений критерій відстані до цілі *ц* визначається як відношення площі j-го варіанту до площі ідеалізованого:

П р и к л а д. Потрібно встановити оптимальний варіант технології збирання незернової частини урожаю (НЧУ) за такими критеріями: узагальнені приведені витрати коштів (/Се), затрати праці (3„), кількість робітників на збиранні 1000 га *(N_v)* і потрібна кількість тракторів для даного процесу ($n_{тр}$).



50. Багатокритеріальна оцінка за відстанню до мети

а — зображення варіантів у просторі критеріїв; б — модель оцінки технологій І комплексів збирання НЧУ

3 Резервування технічних засобів

На практиці можливі труднощі з визначенням числових значень імовірностей відмов чи безвідмовної роботи. Останню можна прийняти чисельно рівною коефіцієнту готовності машини k_r:

Розглянемо вплив коефіцієнта готовності (ймовірності безвідмовної роботи) елементів механізованого процесу на ймовірність безвідмовної роботи всього комплексу машин $P_к$ при різних схемах їх взаємодії і способах резервування елементів (технічних засобів),

Підвищити надійність комплексу можна *резервуванням окремих машин,* а особливо тих, що мають низькі значення коефіцієнту готовності.

Навантажене резервування передбачає певний надлишок числа машин, який забезпечує резерв часу на випадок відмов у роботі техніки. У цьому випадку надійність системи можна оцінити за формулою

При *роздільному резервуванні машин* з однаковими значеннями коефіцієнтів готовності

Якщо основні та резервні машини мають різні ймовірності безвідмовної роботи, то застосовують формулу

При *ковзному резервуванні* будь-який елемент (машина), що відмовив у роботі, може бути замінений резервним.Для визначення надійності таких систем бажано врахову вати характеристики потоку відмов, здатність елементів довідновлення. Природно, що при вирішенні задач оптимального резервування необхідно враховувати також вартісні фактори *. /

Оцінка надійності окремих машин, технологічних комплексів дозволяє приймати раціональні рішення, забезпечити своєчасне виконання

робіт при зниженні сукупних затрат на підтримання техніки в роботоздатному стані.

При невизначеності умов повне усунення ризику в прийнятті рішень є, як правило, економічно невигідним, 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 відрізняти 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, де рядки *Ai* відповідають можливим стратегіям гравця *A,* а стовпчики *Bj*— стратегіям гравця *B* (або станам природи). Результат для кожного поєднання /1, та *Bj* записують у матрицю на перетині відповідних рядків і стовпчиків

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

Критерій Лапласа базується на допущенні рівномірної появи ситуації *Bj*. Тому обирають таку стратегію, яка дає найкращий *очікуваний* результат (найбільший виграш або найменший програш),

Мінімаксний (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:

Менш песимістичним є *критерій Севіджа.* У цьому випадку мірою для порівняння різних стратегій приймають різницю Гу між найкращим значенням результату в стовпчику і поточним значенням *aij* в цьому ж стовпчику:

Критерій Гурвиця зважує варіанти дій від крайнього песимізму до крайнього оптимізму і надає можливість **ОПР** приймати на цьому проміжку рішення, що відповідало б його оцінці ситуації.

Критерій Гурвиця можна також застосувати для матриці різниць. У цьому випадку для розрахунків застосовують вираз, бо *Гц* 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 купаються 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} отрібно 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.

4 Прогнозування в інженерній діяльності

Цілеспрямований розвиток виробництва, розробку перспективних, річних і навіть короткострокових планів доцільно здійснювати на основі наукових прогнозів. Це особливо важливо в даний час, коли в сільському господарстві здійснюються структурні зміни, зміни форм власності на землю і засоби виробництва, вдосконалюється економічний механізм.

Прогноз — це науково обгрунтоване передбачення можливих станів об'єкту в майбутньому або альтернативних способів і строків досягнення певного стану. Вплив випадкових факторів на розвиток систем обумовлює *імовірнісний характер прогнозів,* а тому потрібно забезпечити їх певну достовірність.

Якщо достовірність прогнозу є повною, то він має властивості *завбачення (пророкування)*. Прогноз-завбачення відповідає формулі: буде так і тільки так. *Прогноз-передбачення* полягає у виявленні можливих варіантів розвитку системи при відповідних умовах. Він відповідає логічній формулі: буде так при таких умовах. *Прогноз-план* визначає не тільки можливі стани системи (результати діяльності), але й способи досягнення поставленої мети. Він здійснюється за логічною формулою: якщо потрібно це, то треба зробити так.

Прогноз і план є результатами розумової діяльності спеціалістів і засобами керування виробництвом. Проте прогноз виступає як інструмент пізнання найбільш імовірних шляхів розвитку системи, а план — як засіб

регулювання відносин для досягнення поставленої мети. Тісний взаємозв'язок прогнозування і планування обумовив поділ прогнозів на *оперативні, короткострокові та перспективні* (середньо- і довгострокові). Стосовно до специфіки сільськогосподарського виробництва доцільно виділити оперативні прогнози на строк до одного місяця, короткострокові — на кампанію (сівба, збирання), сезон і рік, перспективні — на строк більше року.

Розрізняють два підходи до прогнозування. Перший — прогнозування від існуючого стану до майбутнього, яке називають *пошуковим.* Другий — від поставленої мети і орієнтирів у майбутньому до даного часу, розробляючи способидосягнення мети. Цей підхід називають *нормативно-цільовим прогнозуванням.*

Так, визначення залишкового ресурсу деталей або складових частин машин за результатами діагностування технічного стану відноситься до пошукового прогнозування. Прикладом нормативно-цільового прогнозування може бути знаходження ефективних шляхів досягнення наперед заданого рівня автоматизації виробничих процесів.

Різноманітність методів і прийомів наукового прогнозування можна поділити на три основні групи: експертна оцінка, екстраполяція та аналіз причинних зв'язків.

Експертна оцінка як метод прогнозування полягає у виявленні узагальненої думки авторитетних спеціалістів на основі незалежних міркувань з даної проблеми. Метод вимагає участі в експертизі багатьох вчених і спеціалістів, що створює значні труднощі, особливо стосовно до специфіки сільськогосподарського виробництва.

Екстраполяція — це продовження у майбутнє тих тенденцій, що склалися в минулому. Переважно екстраполяція здійснюється на період, що не перевищує того періоду її минулому, для якого зібрана достовірна інформація. При виявленні тенденцій важливо встановити такі характерис-* тики системи (показники), які будуть надійними індикаторами її розвитку в майбутньому.

Приклад*. Динаміка розвитку ремонтно-обслуговуючої бази (РОБ) підприємств колишнього Держагропрому України показує, що виробничі потужності зростають пропорційно росту парку машин. Проте за період з 1965 по 1985 р. річне навантаження на трактор, комбайн та інші технічні засоби знизилось більш як удвічі. З урахуванням цієї тенденції доремонтний виробіток досягається за більш тривалий період, ніж передбачається нормативами. Із цього можна зробити висновок, що потребу у виробничих потужностях РОБ потрібно прогнозувати не за нормативним завантаженням, а за обсягом робіт, що припадає на машину, виходячи з відповідних технологій сільськогосподарського виробництва. Проте обсяг робіт у фізичних одиницях чи умовних еталонних гектарах залежить від природно-виробничих умов, що враховуються багатьма факторами. їх сумісна дія проявляється у витратах енергії, які підраховують за кількістю витраченого палива. Отже, прогностичним параметром для розвитку РОБ

може бути виробіток, що виражений через витрату палива. При цьому протягом 20 років спостерігається стійка тенденція (тренд) до зниження річного виробітку.

З наведеного прикладу видно, що помилковий вибір прогностичних параметрів веде до помилкового прогнозу і, як наслідок, до великих втрат ресурсів.

Компонентний метод прогнозування передбачає розчленування системи (об'єкту) на складові частини, розробку незалежного прогнозу для розвитку кожної з них і наступне узагальнення прогнозу для системи в цілому. Цей метод застосовується тоді, коли взаємодія складових частин системи не відіграє суттєвої ролі для цілі загального прогнозу.

Наприклад, роботоздатність трактора в цілому можна прогнозувати за результатами діагностування його окремих агрегатів і систем.

Метод моделювання передбачає складання прогнозу на основі результатів дослідження моделей систем. Для цього можна використовувати натурні моделі (типове господарство, виробнича ділянка, технічний засіб тощо), фізичні моделі, що побудовані на основі теорії подібності, а також математичні моделі.

Побудова динамічних моделей дозволяє дослідити процеси і явища в часі, виявити часові закономірності та тенденції, а тому має велике значення в прогнозуванні.