

Зміст

1. Методологія теоретичних досліджень.....	1
2. Методи класичних наук.....	3
3. Теорія подібності та аналізу розмірностей.....	6
4. Статистична динаміка.....	7
5. Теорія масового обслуговування.....	10
6. Методи моделювання.....	12

1. Методологія теоретичних досліджень

Теоретичні дослідження повинні забезпечувати отримання нової потрібної інформації. Результати теоретичних досліджень спростовують стару або закладають нову гіпотезу, пояснюють процеси (явища) які є незрозумілими або недостатньо вивченими, забезпечують оригінальні рішення.

Так, Р. Дизель, завдяки теоретичним дослідженням, обґрунтував процес роботи двигуна свого імені, а А. Ейнштейн на «кінчику пера» відкрив теорію відносності.

Теоретичні дослідження виконують у декілька стадій: вибір проблеми; знайомство з існуючими рішеннями; обґрунтована відмова від існуючих рішень; перебирання різних варіантів рішень і, нарешті рішення. Успіх теоретичного дослідження залежить від рівня володіння науковцем вибраними ним методами та способами. Відомий математик П. Лаплас зазначав: «знання методу, що користувався вчений, роблячи геніальне відкриття, не менш важливо для науки, чим саме відкриття».

Метод пізнання дисциплінує хід пізнання, він служить компасом ученому, економить час і ресурси при пошукові істини. В процесі, вчений використовує методи: діалектико-матеріалістичний, аналітичний та синтетичний, ймовірно-статистичний, системного параметру, індуктивний та дедуктивний, формальної логіки, аналогії та кореляційного аналізу.

Діалектично-матеріалістичний метод розкривається через закони: переходу кількісних накопичень у якісні зміни об'єкту дослідження; єдності та боротьби суперечностей; заперечення заперечень.

Аналітичний метод дослідження передбачає розкладання цілого на складові, з розкриванням об'єктивно існуючих зв'язків між складовими. За допомогою синтетичного методу розкриває дослідник роль і місце кожного елемента в системі єдиного цілого, пізнає їхні проявлення у предметі дослідження, як єдності різноманітного.

Аналізом та синтезом користуються не окремо, а у співвідношенні, яке диктує специфіка об'єкту дослідження.

Ймовірно-статистичний метод використовують для вивчення дослідження стохастичних процесів, які є притаманними с.-г. виробництву. Вони досліджують зв'язки між аргументами та відповідною множиною значень функції на відміну від детермінованого

процесу, де досліджується причинно-наслідкова залежність. Для дослідження складних процесів імовірного характеру використовують метод Монте-Карло або як його називають, «теоретичний експеримент».

Метод системного параметру (метод системного аналізу) передбачає визначення об'єкту, мети та задач дослідження, визначення критеріїв та окреслення границі досліджуваної системи та її структури, складання її математичної моделі.

Індуктивний метод дослідження полягає в тому, що загальні ознаки роблять на підставі окремих посилок, окремих властивостей об'єкту дослідження при індивідуальному підході. Дедуктивний підхід передбачає міркування від загального до окремого, конкретного. Отримані знання, при цьому, характеризуються певною визначеністю й знаходять широке застосування у науці і техніці. Індуктивно-дедуктивний метод дає можливість робити обґрунтовані висновки про зв'язки і закономірності та явища, які безпосередньо не сприймаються і які не можна бачити, відчувати тощо. Індукція та дедукція не застосовується ізольовано, вони діалектично пов'язані одна з одною. Кожна із них використовується на певному етапі пізнання.

Метод формальної логіки передбачає в процесі пізнання дотримання законів формальної логіки: тотожності, протиріччя, виключеного третього та достатньої підстави.

Метод аналогії (модельний експеримент) є досить розповсюдженим у дослідницькій практиці та базується на умовах :

- наявність зальних вхідних ознак у порівнюваних явищ, процесів, (предметів дослідження);
- достатня кількість знайдених загальних, подібних ознак, щоб можна було ототожнити порівнювані предмети дослідження;
- з'ясування властивостей, якими відрізняються порівнювані предмети дослідження та на скільки вони істотні;
- дослідження об'єктивного взаємозв'язку і взаємозалежності подібних ознак предметів дослідження.

Метод кореляційного аналізу зводиться: до встановлення рівняння регресії між випадковими величинами; до оцінки форми тісноти зв'язків та вірогідності результатів вимірів.

Теоретичні дослідження, як правило, базуються на аксіомах, законах, постулатах, теоремах тощо, на логічній основі, яка є результатом багатовікового досвіду людської спільноти. Теоретичні дослідження знімають необхідність повторення досвіду та експериментальних досліджень на підставі яких встановлені аксіоми, закони, постулати, теореми, які описують об'єкт дослідження. Це скорочує терміни та затрати на дослідження. Для реалізації теоретичних досліджень дослідник повинен володіти знаннями фундаментальних та прикладних наук і, зокрема, методами математичної формалізації явищ (процесів) з достатньою точністю. Для формалізації використовують також: описання процесу (явищ); креслення; графічні залежності; математичне описання. Найдосконалішим є математичне описання процесу (явище) у вигляді математичної моделі. В процесі формалізації описують мовою та засобами математики деталізовані процеси функціонування технологічних систем.

Змістом теоретичних досліджень є: вивчення фізичної природи об'єктів дослідження; побудова принципальних схем об'єктів дослідження; побудова еквівалентних схем об'єкту дослідження, побудова розрахункових моделей функціонування об'єктів дослідження; вирішення задач аналізу та оптимізації параметрів і режимів роботи технологічної системи.

Методи теоретичних досліджень будівельного виробництва вибирають виходячи з особливостей процесу. При створенні і удосконаленні машин та обладнання інженер повинен пам'ятати, що вони будуть контактувати з новим об'єктом.

Будівельне виробництво має різноманітні та стислі в часі операції і процеси. Зокрема в рослинництві певні операції є сезонними і зміщенню в часі не підлягають. Звідси особливість використання машин: короткотерміновість дії, часте переналаджування ПТЛ (потоків технологічних ліній). Окрім цього, на хід механізації процесів накладають обмеження погодні умови, обсяг робіт тощо.

Нестабільність виробництва вимагає повторності досліджень протягом декількох років, значний обсяг збірно-транспортних і розподільно-транспортних операцій процесів ускладнює створення машин та обладнання. При цьому доцільно критерієм ефективності машин чи її робочих органів вибирати якість виконуваних операційних процесів.

Таким чином, кожний із множини існуючих методів теоретичних досліджень є оптимальним при врахуванні особливостей об'єкту та предмету дослідження.

2. Методи класичних наук

При дослідженні питань будівельного виробництва, інженер вирішує питання динаміки технічної системи (ТС), яка реагує на зовнішні вхідні дії і повинна забезпечувати потрібні вихідні параметри, рис. 1.

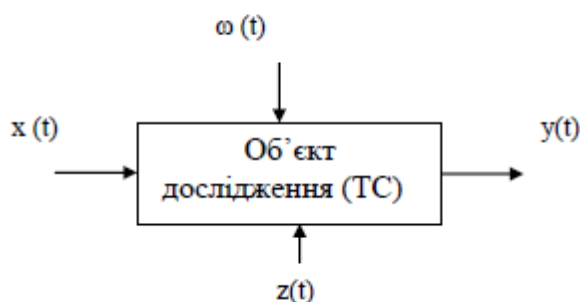


Рис.1. Спрощена модель ТС: $x(t)$ – керовані вхідні фактори; $z(t)$ – некеровані контрольовані вхідні фактори; $\omega(t)$ – некеровані та неконтрольовані (випадкові) вхідні фактори; $y(t)$ – вихідні параметри (критерії оптимізації моделі або цільова функція).

Вибір вхідних факторів, визначається рівнем ідеалізації ТС та вихідними параметрами, які цікавлять дослідника. Вхідні фактори можуть бути детермінованими, тобто з певною точністю можна знайти за ними значення вихідного параметра в часі:

$$R(t_i) = R_0 \sin \omega_0 t_i$$

де – R_0 , ω_0 – постійні величини або змінюються вони за відомим законом.

При детермінованих діях на об'єкт дослідження поведінку його можна описати диференціальними рівняннями динаміки.

Вихідним є другий закон Ньютона для вільної матеріальної точки:

$$m \frac{d\bar{\mathcal{G}}}{dt} = \bar{F},$$

для зв'язаної матеріальної точки

$$m \frac{d\bar{\mathcal{G}}}{dt} = \bar{F} + \bar{R},$$

де m – маса матеріальної точки;

$\frac{d\bar{\mathcal{G}}}{dt}$ – вектор прискорення точки;

\bar{F} – результуюча активних сил;

\bar{R} – результуюча реакції зв'язку.

Для описування складних ТС частіше всього доцільно використовувати рівняння Лагранжа другого роду. Систему зі зв'язками, накладеними на точки системи, які обмежують переміщення (голономні системи) описують рівняннями Лагранжа другого роду:

$$\frac{d}{dt} \frac{\partial T}{\partial \dot{q}_j} - \frac{\partial T}{\partial q_j} = - \frac{\partial U}{\partial q_j} - \frac{\partial R}{\partial \dot{q}_j} + Q_j,$$

Для ТС зі зв'язками, накладеними на точки системи, які обмежують не тільки переміщення, а й швидкість напрямку деяких переміщень, (неголономних систем) рівняння Лагранжа запишеться:

$$\frac{d}{dt} \frac{\partial T}{\partial \dot{q}_j} - \frac{\partial T}{\partial q_j} = - \frac{\partial U}{\partial q_j} - \frac{\partial R}{\partial \dot{q}_j} + Q_j + \sum \lambda_i A_{ij},$$

де T – кінетична енергія ТС;

q_j – узагальнені координати;

U – потенціальна енергія

R – дисипативна функція (енергія, яка залежить від швидкості);

Q_j – проекція узагальненої сили;

λ_j – невизначений множник Лагранжа;

A_{ij} – коефіцієнти при швидкості у неголономних рівностях.

Таким чином, послідовність застосування рівнянь Лагранжа до вирішення задач стосовно до ТС така:

- визначення кількості ступенів свободи і вибір системи узагальнених координат;
- пошук узагальнених сил;
- визначення кінетичної енергії, як функції узагальнених координат і узагальнених швидкостей;
- складання рівняння Лагранжа другого роду;
- інтегрування рівнянь і визначення довільних постійних інтегрувань за початковими умовами задачі;
- визначення реакції зв'язку;
- дослідження знайденого рішення і його технічна інтерпретація.

Деталізуючи вищенаведене необхідно зазначити, що функціонування простих (стаціонарні машини, поводкові механізми тощо) ТС першого порядку можна описати рівняннями:

$$\frac{dx}{dt} = ax(t) + bu(t),$$

якщо, $a, b - \text{const}$;
та рівнянням

$$\frac{dx}{dt} = a(t)x(t) + b(t)u(t),$$

де $\frac{dx}{dt}$ – змінна стану системи;

$u(t)$ – вхідна дія;

$a(t)$ і $b(t)$ – змінні коефіцієнти.

Якщо маємо нелінійну ТС зі змінними коефіцієнтами, то її функціонування описується диференціальними рівняннями:

$$\left. \begin{aligned} \frac{dx}{dt} &= f[x(t), u(t), t,] \\ y(t) &= q[x(t), u(t), t,] \end{aligned} \right\},$$

а при наявності більше одного входу, рівняння запишуться:

$$\left. \begin{aligned} \frac{dx}{dt} &= f[x_1(t), u_1(t), u_2(t), \dots, u_n(t), t] \\ y(t) &= q[x_1(t), u_1(t), u_2(t), \dots, u_n(t), t] \end{aligned} \right\},$$

а при наявності декількох входів:

$$\left. \begin{aligned} \frac{dx}{dt} &= f[x(t), U_1(t), U_2(t), \dots, U_n(t), t] \\ y_1(t) &= q_1[x(t), U_1(t), U_2(t), \dots, U_n(t), t] \\ y_2(t) &= q_2[x(t), U_1(t), U_2(t), \dots, U_n(t), t] \\ y_n(t) &= q_n[x(t), U_1(t), U_2(t), \dots, U_n(t), t] \end{aligned} \right\},$$

Дослідження: розв'язування трьох останніх рівнянь є базою для аналізу та синтезу параметрів систем першого порядку. ТС в яких маса переміщується з прискоренням та в яких має місце інерція, відносяться до систем другого порядку, і їх функціонування можна описати рівнянням другого порядку з постійними коефіцієнтами та вхідні дії яких $dU(t)$ а вихідні дії $y(t)$:

$$\frac{d^2y(t)}{dt^2} + a_1 \frac{dy(t)}{dt} + a_0 y(t) = b_0 U(t) + b_1 \frac{dU(t)}{dt} + b_2 \frac{d^2U(t)}{dt^2},$$

або системою диференціальних рівнянь першого порядку:

$$\left. \begin{aligned} \frac{dx_1}{dt} &= a_{11}x_1(t) + a_{12}x_2(t) + b_1U(t) \\ \frac{dx_2}{dt} &= a_{21}x_1(t) + a_{22}x_2(t) + b_2U(t) \end{aligned} \right\}$$

і рівнянням $y(t) = c_1x_1(t) + c_2x_2(t) + du(t)$

Окрім цього, розрахункові моделі функціонування багатомасових детермінованих технічних систем, при наявності (та без них) зовнішніх дій та із застосуванням передаточних функцій, наводяться в методиках.

При теоретичному дослідженні поведінки матеріалів вони можуть бути об'єктом переробки ТС чи матеріалом самої ТС. Так, матеріали знаходяться під дією об'ємних сил прикладених зовні. В результаті матеріали піддаються різному виду деформації (пружної, пластичної, крихкої тощо). В залежності від співвідношення між напругами та значеннями деформацій, матеріали представляються як середовища: лінійно-пружні, пружно-пластичні,

пластичні, в'язкі, рідкі, сипкі, газові та дисперсійні системи (суспензія, розчин, емульсія тощо). Стосовно до середовища, в яких знаходиться матеріал, використовують рівняння з відповідних дисциплін: механіки матеріалів, механіки сипких середовищ, гідравліки, аеродинаміки тощо. Так, для лінійно-пружних систем формалізованим описом стану середовища є закон Гука:

$$\delta = E_E \cdot e,$$

де δ - напруга;

E - модуль пружності;

e - відносна деформація.

Для в'язкого середовища розрахункова модель :

$$\delta = K \frac{d\varepsilon}{dt},$$

де K – коефіцієнт динамічної щільності;

$\frac{d\varepsilon}{dt}$ – швидкість деформування середовища.

Слід відзначити, що для більш складних умов, використовують диференціальні рівняння більш високого порядку. При цьому рівняння більш високого порядку важче розв'язуються. Складність рівняння зростає при збільшенні кількості в'язких ланок, які описують середовище. Допустимою є 1...3 в'язких ланок, які складають модель середовища, яке дослідник описує.

Для спрощення моделі приймають деформацію ідеалізованих матеріалів (ідеально-пружне тіло Гука, ідеально-в'язке тіло Ньютона, ідеально-пластичне тіло Сен-Венана тощо). Для кожної із цих груп матеріалів створені рівняння навантаженого стану, на основі яких і записують розрахункові моделі напруженого стану конкретних суцільних середовищ або їх комбінації.

Таким чином, для формалізації функції ТС, останню ідеалізують з тим, щоб з найбільшою точністю описати їх за допомогою відомих математичних залежностей.

3. Теорія подібності та аналізу розмірностей

Методом, який не допускає втрати точності експерименту і інформації є метод аналізу розмірностей.

Якщо всі змінні відомі експериментатору, то їх можна перетворити, спираючись на теорему Букінгема: «Якщо будь-яке рівняння однорідне відносно розмірностей, то його можна перетворити в співвідношення, яке має набір безрозмірних комбінацій величин. При цьому: однорідним відносно розмірностей є рівняння, форма якого не залежить від вибору основних одиниць; безрозмірні комбінації представляють собою добутки або відношення величин, які складені таким чином, що в кожній комбінації розмірності скорочуються».

Так, при визначенні коефіцієнта тертя рідини об стінки трубопроводу, ми маємо залежність в загальному вигляді:

$$f = \varphi(L, D, V, \rho, \mu, e, g)$$

то відповідно до теореми Букінгема, залежність буде мати вигляд:

$$\frac{f \cdot 2g}{v^2} = \varphi\left(\frac{L}{D}, \frac{vD\rho}{\mu}, \frac{e}{D}\right)$$

Звичайно, знайти залежність між трьома факторами в формулі простіше, ніж між сімома в попередній.

Таким чином, як стверджує Пі-теорема: «Якщо існує однозначне співвідношення $\varphi(A_1, A_2, \dots, A_n) = 0$ між n фізичними величинами, для опису яких використовується k основних одиниць, то існує таке співвідношення:

$$\varphi(P^1, P_2, \dots, P_{n-k})$$

між $(n-k)$ безрозмірними комбінаціями, складеними із цих фізичних величин.»

Слід пам'ятати, що метод аналізу розмірностей не дозволяє визначити тип функції, яка зв'язує одну безрозмірну комбінацію з другою. Тип функції визначають лише після виконання експерименту та статистичної обробки отриманих експериментальних даних.

Таким чином, методика використання методу аналізу розмірностей передбачає :

- вибір незалежних змінних, які впливають на досліджуваний об'єкт. При цьому враховують розмірні коефіцієнти і фізичні константи;

- вибрати систему основних розмірностей, через яку можна виразити одиниці всіх змінних. Для задач механіки твердих тіл і рідин використовують систему розмірностей – MLT , теплотехніки – $MLT\theta$; електротехніки – $MLTK$ (K – діелектрична постійна, θ – температура, M – маса, L – довжина, T – час);

- записати розмірності вибраних незалежних змінних і скласти безрозмірні комбінації.

Рішення буде правильним, коли:

- 1) кожна комбінація буде безрозмірною;
- 2) кількість комбінацій має бути не більше $(n-k)$;
- 3) кожна змінна зустрічається в комбінаціях хоча би один раз;

- вивчити отримані комбінації з точки зору наявності в них фізичного змісту та концентрації невизначеності в одній комбінації.

Якщо комбінації не задовольняють даних вимог, то необхідно:

а) отримати друге рішення рівнянь для показників степенів, щоб знайти кращий набір комбінацій;

б) вибрати другу систему розмірностей і проробити всю роботу з початку;

в) перевірити правильність вибору незалежних змінних;

- коли буде отримано позитивний набір безрозмірних комбінацій, дослідник складає план зміни комбінації, варіюючи значенням вибраних змінних.

Після цього складають матрицю плану повного факторного експерименту на двох рівнях, для визначення напрямку до оптимуму.

4. Статистична динаміка

Процеси, в яких вхідні фактори можна оцінити високим рівнем точності та вірогідності, які впливають на значення вихідних параметрів, з високим рівнем вірогідності є детермінованими.

Детерміновані залежності, які описують дані процеси, та методи їх установлення в достатній мірі відпрацьовані класичною фізикою та механікою. Друга група процесів (явищ) в яких суттєву роль грають випадковості. Процеси, в яких значення вхідних факторів та вихідних параметрів є змінними та випадковими з певним рівнем вірогідності є імовірнісними (стохастичними). Таким чином, випадковими є такі процеси, в яких фактори і параметри змінюються в часі.

Всі технологічні, енергетичні та експлуатаційні параметри ТС мають випадковий характер і ступінь їх детермінованості виражена слабо. Тому аналітично (графічно) описати ці процеси складно. Для описання властивостей випадкових процесів, використовують статистичні характеристики. За допомогою статистичних характеристик, з певною вірогідністю, виконують розрахунки та мають можливість прогнозувати процес.

Випадкові процеси бувають: стаціонарні і не стаціонарні.

Стаціонарні це такі випадкові процеси, статистичні характеристики яких не залежать від початку відліку часу. Стаціонарні випадкові процеси називають ще нормальними (гаусівськими). Стаціонарні випадкові процеси поділяються на ергодичні та неергодичні. Ергодичні стаціонарні випадкові процеси мають статистичні характеристики, що отримують усередненням за достатньо великим інтервалом часу і можуть служити оцінками статистичних характеристик, які отримали за достатньо великою сукупністю реалізацій.

Нестаціонарні випадкові процеси це такі у яких хоча б одна статистична характеристика залежить від часу. Більшість задач аналізу ТС пов'язані з вивченням одномірних стаціонарних ергодичних випадкових процесів. Для даного випадку і приводимо залежності статистичних характеристик процесів:

$$\text{математичне очікування } m_x = \lim_{T \rightarrow \infty} \frac{1}{T} \int_0^T x(t) dt,$$

$$\text{дисперсія } (\vec{D}_x = \lim_{T \rightarrow \infty} \frac{1}{T} \int_0^T [x(t)]^2 dt,)$$

$$\text{кореляційна функція } R_x(\tau) = \lim_{T \rightarrow \infty} \frac{1}{T} \int_0^T x(t)x(t+\tau) dt,$$

$$\text{нормована кореляційна функція } \rho_x(\tau) = \frac{R_x(\tau)}{\delta_x(t_1)\delta_x(t_2)},$$

$$\text{взаємна кореляційна функція } R_{xy}(\tau) = \lim_{T \rightarrow \infty} \frac{1}{T} \int_0^T x(t)y(t+\tau) dt,$$

$$\text{нормована взаємна кореляційна функція } \rho_{xy}(\tau) = \frac{R_{xy}(\tau)}{\delta_x(t_1)\delta_y(t_2)},$$

Характеристику розсіювання значень випадкового процесу оцінюють середньоквадратичним відхиленням:

$$\sigma_x(t) = \sqrt{D_x(t)}, \quad \sigma_y(t) = \sqrt{D_y(t)}$$

Спектральна щільність випадкових процесів, які мають місце при роботі машин та обладнання:

$$S_x(\omega) = \frac{2}{\pi} \int_0^{\infty} R_x(\tau) \cos \omega \tau d\tau,$$

$$R_x(\tau) = \int_0^{\infty} S_x(\omega) \cos \omega \tau d\omega,$$

де $\omega = 2\pi f$ – кутова частота коливань;

T – часовий параметр тривалість оцінки процесу;

τ – час затримки (зміщення) реалізації випадкового процесу;

$x(t)$ – реалізація випадкового процесу;

$\dot{x}(t) = x(t) - m_x$ – центрована величина випадкового процесу.

Нормована спектральна щільність випадкового процесу

$$\delta_x(\omega) = \frac{S_x(\omega)}{D_x}.$$

Основні властивості кореляційної функції та спектральної щільності:

кореляційна функція симетрична відносно часу t_1 і t_2

$$R(t_1, t_2) = R(t_2, t_1),$$

кореляційна функція є парною, що випливає із її симетричності, тому достатньо її подавати в області $0 \leq \tau \leq \infty$.

$$R_x(\tau) = R_x(-\tau).$$

Окрім того, має місце нерівність кореляційних функцій випадкових процесів, тобто значення кореляційної функції завжди менше або рівне дисперсії процесу.

$$R_x(0) = D_x \geq R_x(\tau),$$

Нормована кореляційна функція стаціонарного процесу завжди задовольняє нерівність $\rho(\tau) \leq 1$

Аналіз та оцінку випадкових процесів виконують за залежностями вище показаними. Перетинання кореляційних залежностей $\rho(\tau_1)$ і $\rho(\tau_2)$ з віссю часу і з подальшим затуханням, свідчить про наявність у випадковому процесі скритих неоднорідних складових. Якщо процес має гармонічну складову з амплітудою A та частотою ω , то починаючи з деякого часу τ , кореляційна функція $\rho(\tau)$ не затухає. Коли $\rho(\tau)$ немає періодичних складових, то вона не перетинає вісь часу (τ). Окрім цього визначають інтервал (час) кореляції, який рівний часу затухання чи зникнення кореляції:

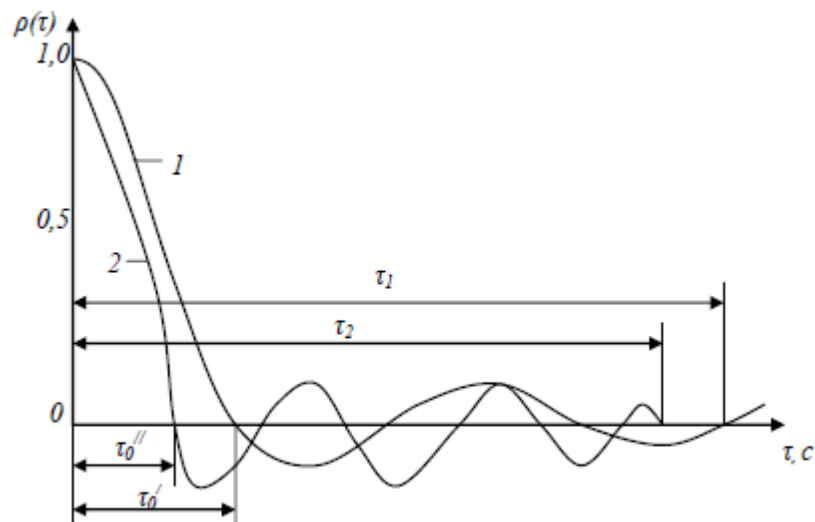


Рис. 2 Нормовані кореляційні функції

$$\tau_0 = \int_0^{\infty} \rho(\tau) d\tau.$$

Середній період коливань:

$$T_\rho = \frac{1}{n} \sum_{i=0}^{i=n} (\tau_{i+1} - \tau_i),$$

де τ_i – послідовне значення абсцис точок перетину кривої $\rho(\tau)$ з віссю τ ;
 n – число реалізації випадкових функцій.

Спектральна щільність є спектральним розкладанням кореляційної функції $R(\tau)$ і відображає частотний склад і спектр дисперсії випадкового процесу. При цьому, необхідно пам'ятати, що $S(\omega) = S(-\omega)$. Зв'язок між спектральною щільністю та кореляційною функцією забезпечується перетворенням Фур'є, тому чим ширший спектр дисперсії, тим менший інтервал кореляційного зв'язку і навпаки.

Основними параметрами оцінки спектральної щільності випадкового процесу є частота зрізу (ω_z), ширина спектру ($\Delta\omega$), частота максимальної щільності спектру ($\omega\theta$), значення спектральної щільності при $\omega=0$, відносна ширина спектра (ε_c) тощо.

Таким чином, кореляційна функція та спектральна щільність є найбільш інформативними статистичними характеристиками випадкових процесів, тому вони частіше всього використовуються дослідниками для аналізу процесу.

5. Теорія масового обслуговування

Теорія масового обслуговування (ТМО) це теорія про пропускну здатність технологічної системи або теорія черг. Дана теорія передбачає оптимізацію складових технологічної системи, яка забезпечує її функціонування без додаткових ресурсів (часу, матеріалів, енергії тощо).

Робота системи масового обслуговування (СМО) (корів – доїльними установками; обслуговування транспортними засобами – зернозбиральних комбайнів; автомобілів – станцією технічного обслуговування; АЗС – автомобілів, тракторів та комбайнів тощо) зводиться до обслуговування заявок (вимог), які поступають одна за одною через випадкові інтервали часу. Обслуговуючі одиниці (доїльна установка, зернозбиральний комбайн, СТО, АЗС тощо) називаються каналами обслуговування. Канали обслуговування приймають заявки та виконують їх. Інтервали між надходженнями двох суміжних заявок та тривалість обслуговування заявок є непостійними, випадковими. Система масового обслуговування має певну пропускну здатність, яка залежить від кількості каналів та їх продуктивності.

В ТМО установлюють залежність між потоком заявок, пропускну здатністю системи масового обслуговування. Ефективність системи масового обслуговування (СМО) визначається часом простоювання обладнання, витратою коштів, енергії та використанням робочої сили.

СМО буває розімкнутою і замкнутою. Розімкнуті СМО – це такі, в яких заявки обслуговуються без повернення їх у систему (СТО, АЗС тощо). Замкнуті СМО – це такі, в яких обслужені заявки через певний інтервал часу повертаються у систему (доїльний блок, зерно-транспортний комплекс, посівний комплекс тощо). Характерна особливість замкнутих систем

– обмеженість та сталість заявок (вимог). СМО також поділяють: за кількістю каналів – на одноканальні або багатоканальні; за поведінкою заявок – з відмовою або з чеканням. Показники функціонування СМО можна визначити, якщо задано: її склад та функціональні зав'язки; вхідний потік заявок (інтенсивність та ймовірність їх надходження); режим обслуговування (кількість заявок, які обслуговуються одночасно); середня тривалість обслуговування (ймовірність тривалості обслуговування); режим чекання (спосіб вибору обслуговування однієї заявки з усіх, що чекають). Оцінка інтенсивності надходження заявок, тривалість обслуговування заявок, середня тривалість чекання в черзі, інтенсивність станів досліджуваної технологічної системи тощо, ґрунтуються на масових даних тобто на статистичній інформації. Статистичну інформацію про функціонування технологічної системи добувають шляхом фотохронометражних або хронометражних спостережень.

Фотохронометражні спостереження виконують при попередньому обстеженні СМО, вимірюючи всі операції процесу в їх технологічній послідовності.

Хронометражні спостереження – це основне джерело додаткової статистичної інформації при детальних дослідженнях СМО. При спостереженнях визначають фіксовані точки, які дають можливість точно визначити кінець і початок кінцевої операції функціонування технологічної системи.

Фіксованою точкою початку навантаження є зупинка транспортного засобу в місці подачі вантажу, а кінцем – момент зрушення транспортного засобу з місця після завантаження.

В результаті спостережень отримуємо вибірку сукупність затрат часу, яка тим точніше описує генеральну сукупність, чим більшою є вибірка.

Кількість вимірювань, що забезпечує при спостереженні потрібну точність, визначень за залежністю:

$$n = \frac{(k_c - 1)^2}{(k_c + 1)^2 \delta^2},$$

де δ – допустима величина відносної похибки результатів спостережень. В інженерних спостереженнях, $\delta = 0,05$; k_c – відношення максимального значення замірів до мінімального,

$$k_c = \frac{t_{\max}}{t_{\min}}.$$

Для досліджуваної СМО співвідношення повинно бути: $k_c \leq k_{ca}$, де $k_{ca} \approx 10$ – коефіцієнт для аналогічного елементу аналогічної технологічної системи.

Для СМО с.-г. призначення задана точність досягається при кількості заявок $M \geq 100$. При встановленні законів розподілу заявок вхідного потоку і часу обслуговування їх, потрібної точності досягають при обсязі вибірових спостережень не менше $M > 1000$.

Таким чином, якщо за мету ставиться встановлення законів розподілу параметрів (режимів) функціонування СМО, то для цього вимагається ретельна підготовка та суттєві затрати праці і коштів. Для спостереження готують спеціальні хронометражні листи.

Отримана інформація опрацьовується методами математичної статистики.

Визначають інтенсивність потоку заявок та тривалість (інтенсивність) обслуговування їх. Для цього потрібна інформація про закон розподілу цих параметрів СМО. При пуассонівському та експоненціальному законах ($M > 100$), поступають таким чином. Підраховують кількість заявок (M), що надійшли за час спостережень (T), та кількість заявок, які за цей час обслужили (M') та визначають час зайнятості каналів обслуговування. Тоді дають оцінку інтенсивності вхідного потоку (заявок) в установленому режимі для замкнених СМО за залежністю:

$$\lambda = \frac{M}{T}$$

Оцінку інтенсивності обслуговування здійснюють за залежністю:

$$v = \frac{M^1}{\sum t_3}$$

де $\sum t_3$ - сума всіх тривалостей обслуговування за час спостереження T , оцінюють за даними листів спостережень.

Середній час очікування в черзі:

$$\bar{t}_{\text{чк}} = \frac{\sum t_{\text{чк}}}{M}$$

де $\sum t_{\text{чк}}$ - час очікування за час спостереження.

Середній час відсутності черги:

$$\bar{t}_{\text{св}} = \frac{\sum t_{\text{св}}}{M - m}$$

де $\sum t_{\text{св}}$ - час відсутності черг за час спостережень.

m - кількість систем, які необхідно обслуговувати (корів, автомобілів тощо).

Імовірність станів системи розраховують:

$$P_i = \frac{T_i}{T}$$

де T_i - час протягом якого у СМО перебувало i -х заявок.

Таким чином, можна виконати оцінку параметрів (режимів) функціонування СМО за вхідним потоком, який описується пуассоновським чи експоненціальним законами розподілу. У більш складних випадках дослідники використовують можливості марківської теорії масового обслуговування.

Частіше всього в будівельному виробництві даний метод використовують для:

- оптимізації програми і потрібного обладнання об'єктів технічного сервісу (склади, ремонтні майстерні, станції технічного обслуговування тощо);
- оптимізації програми, працівників та обладнання цехів механізації процесів в рослинництві, в тваринництві та переробній галузі;
- розрахунку простоїв та продуктивності машин і обладнання в окремих ланках механізованого виробничого процесу;
- оптимізації місткості накопичувальних місткостей (компенсатори робочої рідини, зерна тощо).

6. Методи моделювання

Моделювання – це метод, який дозволяє прискорити науково-технічний прогрес, скоротити терміни опанування та впровадження передових механізованих процесів у будівництві. При моделюванні досліджують модель замість оригіналу, результати кількісно розповсюджують на оригінал.

Моделювання супроводжується дотриманням таких вимог: дослідження повинно бути дешевшим, швидшим та безпечнішим; повинно мати місце співвідношення (масштаб) чи

правило, за яким можна виконувати розрахунок параметрів (режимів) оригіналу за результатами досліджень моделі.

Моделі бувають матеріальні та уявні. Уявна модель передбачає схему об'єкту (явища), яка відображає його суттєві сторони, що виникають у свідомості людини в процесі пізнання. Уявна фізична модель – це сукупність наочно-фізичних понять про явища (процеси). Уявна математична модель – сукупність математичних структур (рівняння, нерівності, таблиці, графіки тощо), які на підставі фізичних подань кількісно описують явище (процес). Модель може розвиватись з фізичної до математичної та навпаки.

Модель не відображає оригінал всебічно та повністю. Для практики використовують модель, яка відображає потрібні (критеріальні) риси оригіналу. Інколи доцільно використовувати різні моделі одного і того ж оригіналу в залежності від поставленої цілі.

Так, моделлю стола може бути:

- якщо стіл має сприймати динамічні навантаження, це міцний, масивний каркас;
- якщо стіл має бути корозієстійким, то моделлю може бути кусочок матеріалу, який ми випробовуємо у різних агресивних середовищах;
- якщо стіл ми повинні оптимально розмістити у тісній лабораторії, то моделлю може бути лист ДВП певних розмірів, який ми рухаємо по лабораторії чи плану лабораторії.

Отже, при різних критеріях (цілях), різними будуть моделі. При моделюванні використовують апарат теорії подібності та аналогії. Окрім цього використовують для моделювання ЕОМ.

Для створення математичної моделі та проведення на ній досліджень виконують такі етапи:

- постановка задачі – визначення цілі та області використання результатів моделювання. Зокрема, при моделюванні механізованого технологічного процесу, метою може бути оптимізація певного параметру (режиму) чи структури. В залежності від цілі вирішуються питання спрощення моделі системи;

- описання системи, яку ми моделюємо. Технологічний процес (технологічна система - ТС), який моделюється, описується системою диференціальних чи алгебраїчних рівнянь. За основу беруть рівняння матеріального та енергетичного балансів, які будують з урахуванням теорії процесів, закономірностей, емпіричних чи критеріальних залежностей, кореляційних зв'язків між окремими параметрами тощо;

- вибираємо метод розв'язування задачі та підготовки її до рішення. Розробляють алгоритм рішення та налагоджують програми. Уточнюють модель та устанавлюють помилки, які з'явилися;

- виконують розрахункове дослідження. Попереднє дослідження, в ході якого встановлюють адекватність моделі об'єкту моделювання та основне дослідження, коли вирішують задачу. Модель удосконалюють доти, поки не буде досягнуто співвідношення результатів.

- аналіз результатів – заключний етап моделювання. Отримані дані подають у вигляді графічної або аналітичної залежності. За результатами, розробляють рекомендації з впровадження або прогнозують подальші дослідження.

Моделювання забезпечує аналіз роботи технологічної системи, результати якого дають можливість суттєво поліпшити якість її роботи.

Попередній контроль математичної моделі

Процес вибору математичної моделі об'єкта закінчують її попереднім контролем за такими показниками:

- розмірність;
- порядок (визначають порядки величин, які додають, малозначними доданками нехтують);
- характер залежностей (здійснюють перевірку напрямку і швидкості зміни одних величин при зміні інших);
- екстремальні ситуації (оцінюють можливий стан системи при наближенні параметрів моделі до мінімальних і максимальних значень);
- граничні умови;
- математична замкнутість (перевіряють, чи містить модель необхідну кількість рівнянь для визначення її параметрів і оцінюють, що математична модель дає однозначне рішення);
- фізичний зміст (здійснюють перевірку фізичного змісту проміжних співвідношень);
- стійкість моделі (здійснюють перевірку того, що варіювання вихідних даних не призведе до істотної зміни рішення).