

## МОДЕЛІ ФОРМУВАННЯ ЯКОСТІ

Р.Т. Мартинюк, О.Т. Чернова, Т.А. Мартинюк

ІФНТУНГ, 76019, м. Івано-Франківськ, вул. Карпатська, 15, тел. (03422) 42157,  
e-mail: snp@nimg.edu.ua

Описано моделі, що впливають на формування якості будівництва магістральних трубопроводів та встановлено кількісні зв'язки між конструктивно-технологічними параметрами спорудження і показниками його надійності.

Ключові слова: втрата якості, формування якості, критерії нагромадження якості.

Описаны модели, влияющие на формирование качества строительства магистральных трубопроводов, и установлены количественные связи между конструктивно-технологическими параметрами сооружения и показателем его надежности.

Ключевые слова: потеря качества, формирования качества, критерии накопление качества.

Models, that affect forming of quality of building of main pipelines and quantitative copulas are set between the structural-technological parameters of building and his reliability indexes, are described.

Keywords: loss of quality, forming of quality, criteria of piling up of quality.

Проблема забезпечення якості будівництва і експлуатації магістральних трубопроводів, що у даний час є дуже важливою для України, вирішується на етапах проектування, спорудження та експлуатації. Для цього створюють моделі формування якості.

Реальний процес формування якості спорудження виступає в закономірному розвитку двох взаємозалежних процесів: накопичення та втрати якості. Власне процес накопичення якості зумовлює формування екстремального рівня, що відповідає ідеалізованій схемі спорудження об'єкта. Процес втрати якості на всіх етапах спорудження об'єкта обумовлює в кінцевому підсумку реальний рівень якості. Цей рівень, будучи інтегральною оцінкою формованої якості спорудження, значною мірою обумовлений кількісними характеристиками властивостей об'єкта, що споруджується. Розглянемо модель формування якості спорудження за відомими статистичними розподілами двох критеріїв:  $X_1, X_2$  (рис. 1).

Вважаємо, що критерії  $X_1, X_2$  обумовлюють конструктивно-технологічний потенціал спорудження, однозначно визначальне значення взаємозалежного з ним критерію  $t$  (наприклад, часу  $t=T_0$  перебування споруди в стані  $X_{1T_0}, X_{2T_0}$ ). У цьому випадку статистичний взаємозв'язок між розподілами критеріїв  $X_1, X_2, t$  має вигляд

$$P[X_1 \leq X_{1T_0}; X_2 \leq X_{2T_0}] = vP(t \leq T_0), \quad (1)$$

де  $v$  – коефіцієнт, що залежить від координатних систем  $(X_1, X_2)$  і  $(t)$ ;  $0 < v \leq 1$ .

При переході до двовимірної функції розподілу ліва частина формули (1) прийме вигляд

$$F(X_1, X_2) = \int_{x_1} \int_{x_2} f(x_1, x_2) dx_1 dx_2, \quad (2)$$

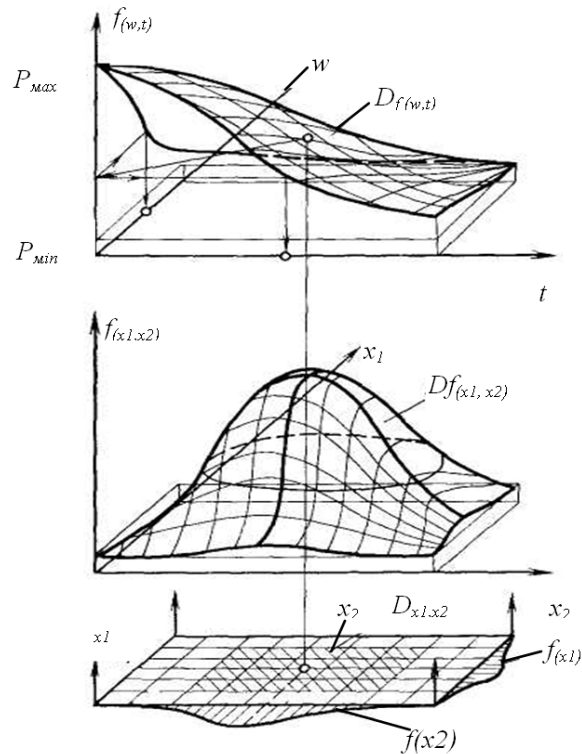


Рисунок 1 – Модель формування якості спорудження за відомими критеріями  $X_1, X_2$

де:  $F(X_1, X_2)$  – двовимірна функція розподілу параметрів;

$x_1, x_2; f(x_1, x_2)$  – щільність імовірності двовимірного розподілу.

$$P[X_1 \leq x_1 \leq X_1 + dx_1; X_2 \leq x_2 \leq X_2 + dx_2] = f(x_1, x_2) dx_1 dx_2, \quad (3)$$

можна зробити висновок про те, що поняття щільності ймовірності двовимірної випадкової величини, під якою в цьому випадку розуміється рівень якості спорудження за критеріями

$X_1, X_2$ , вводиться аналогічно випадку одновимірних розподілів  $f(x_1)$  і  $f(x_2)$  як складових цієї якості.

У геометричній інтерпретації щільність імовірності розподілу критеріїв  $X_1, X_2$  може бути представлена деякою поверхнею, що характеризує двовимірний розподіл якості спорудження.

Права частина рівності (3) виражає щільність розподілу критерію  $t$

$$P[\Omega \leq \omega \leq \Omega + d\Omega; T_0 \leq t \leq T_0 + dT_0] = f(\omega, t) d\omega dt, \quad (4)$$

де  $\omega$  – узагальнений параметр якості за критеріями  $X_1, X_2$ .

Якщо взяти до уваги, що зміна узагальненого параметра якості спорудження за критеріями  $X_1, X_2$  у часі відбувається в послідовності

$$\Omega_0(X_1, X_2)_0 \rightarrow \Omega_{t_i}(X_1, X_2)_{t_i} \rightarrow \Omega_{np}(X_1, X_2)_{np},$$

де  $\Omega_{про}$ ,  $\Omega_{тв}$ ,  $\Omega_{ин}$  – значення узагальненого параметра якості, що відповідають початковому, проміжному й граничному рівням критеріїв  $X_1, X_2$ , а зміна тимчасового параметра відповідно

$$P_{max}(t) \rightarrow P(t) \rightarrow P_{min}(t),$$

де  $P_{min}(t) = P(T_0)$ , то з врахуванням виразу (4) отримаємо

$$F(\Omega_{np}) - F(\Omega_0) = \iint_{\omega, t} f(\omega, t) d\omega dt. \quad (5)$$

Щільність імовірності  $f(\omega, t)$  у геометричній інтерпретації визначає деяку поверхню розподілу параметрів  $\omega, t$ .

Загалом опису інтегральної якості спорудження через систему якого завгодно числа критеріїв ( $X_1, X_2, X_3, \dots, X_n$ ) уподібнюються завданню зі встановлення взаємозв'язку вихідних розподілів параметрів якості.

Якщо час  $t$  переходу критеріїв  $X_1, X_2, \dots, X_n$  від свого початкового рівня до граничного прийняти як міра експлуатаційної надійності спорудження, то розглянута модель дає змогу вирішувати два типи конкретних задач. Перший полягає в імовірнісній оцінці початкових значень параметрів якості спорудження за заданим рівнем його надійності, другий – обернена задача, що передбачає можливість за відомим рівнем початкової якості спорудження отримати оцінку його надійності.

З методичної точки зору, задачі пошуку законів розподілу узагальненого параметра якості зі спорудження, що є функцією критеріїв та розглядається у вигляді суми залежних або незалежних випадкових величин є правомірним.

Сукупність властивостей, що обумовлюють рівень якості спорудження (відповідно до загальновідомої термінології), може бути описана системою конструктивних, технологічних, експлуатаційних параметрів, реалізованих на етапах дослідження, проектування й будівництва конструкції. Приведення початкового рівня якості спорудження до його конструктивно-технологічного потенціалу (що характеризується системою конструктивних і технологічних

факторів) виправдано в тому розумінні, що такі фактори є універсальними показниками фактичного стану об'єкта в передексплуатаційний період (при  $t=0$ ).

Установлення точних кількісних зв'язків між конструктивно-технологічними параметрами спорудження (для довільного моменту часу його експлуатації) і показником його надійності – важлива умова ефективного керування якістю на стадіях розрахунку й проектування.

Початковий рівень якості будь-якої інженерної споруди може бути приведений до деякої узагальної координати

$$\xi_{K_0} = f_1\left(\sum_{i=1}^n x_{0i}; \sum_{i=1}^n y_{0i}\right),$$

де  $\sum_{i=1}^n x_{0i}, \sum_{i=1}^n y_{0i}$  – відповідно сукупності конструктивних і технологічних факторів, що характеризують початковий рівень якості спорудження.

Чим більшу кількість вказаних факторів містить узагальнена координата, тим повнішою буде отримана інформація про фактичний стан споруди. У ході експлуатації споруди узагальнена координата  $\xi_{K_0}$  постійно змінюється, наближуючись до певної точки, що характеризує граничний стан споруди  $\xi_{Гр}$ . Закономірність зміни узагальненого параметра якості, вираженого координатою  $\xi_K$ , залежить насамперед, від конструктивно-технологічних властивостей споруди й умов її експлуатації. Однак функціональна зміна координати  $\xi_K$  у часі є лише однією з характеристик процесу зниження інтегральної якості. З моменту початку експлуатації споруди відбувається безперервна зміна параметрів її фактичної конструктивної надійності, що умовно можна виразити узагальненою координатою  $\xi_H$ . Функціональна зміна цієї координати в часі  $\xi_H = f_2(t)$ , відбувається в строгій відповідності з функціональною характеристикою  $\xi_K = f_1(t)$ . Точки  $K_b, H_b$ , узяті в довільний момент часу  $t_b$ , характеризують  $i$ -ий стан інтегральної якості споруди за двома її узагальненими координатами.

На базі функціональних кривих  $\xi_K(t), \xi_H(t)$  може бути побудована крива зміни інтегральної якості 4 (рис. 3), що має своїми проекціями на площину  $H-t$  криву зміни координати надійності 2 і на площину  $K-t$  криву зміни координати якості 1. Опис кривої інтегральної якості у вигляді деякого функціоналу  $\Phi(\xi_K, \xi_H, t)$  дає підстави встановити аналітичний зв'язок між координатами  $\xi_K$  і  $\xi_H$ . У геометричній інтерпретації такому функціоналу відповідає крива зміни інтегральної якості 4. Третя проекція кривої інтегральної якості — на площину  $K-H$ , вона може бути представлена у вигляді функції  $\xi_H = f_3(\xi_K)$ . Ця залежність дає

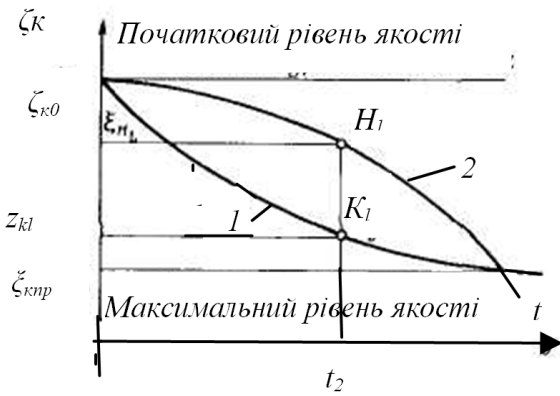


Рисунок 2 – Функціональні зміни загальних координат якості спорудження \$\zeta\_K\$ та експлуатаційної надійності \$\xi\_H\$

змогу в довільний момент часу експлуатації споруди встановити кількісне співвідношення між рівнями його якості (за конструктивно-технологічними критеріями) і надійності.

Функціонал \$\Phi(\xi\_K, \xi\_H, t)\$ може бути знайдений за двома будь-якими його складовими

$$\left. \begin{aligned} \xi_K &= f_1(t) \\ \xi_H &= f_2(t) \\ \xi_H &= f_3(\xi_K) \end{aligned} \right\} \quad (6)$$

або в неявному вигляді

$$\left. \begin{aligned} \Phi_1(\xi_K, t) &= 0 \\ \Phi_2(\xi_H, t) &= 0 \\ \Phi_3(\xi_K, \xi_H) &= 0 \end{aligned} \right\} \quad (7)$$

Повний диференціал функції \$\xi\_H = F(\xi\_K, t)\$, вираженої через дві інші узагальнені координати, матиме вигляд

$$d\xi_H = \frac{\partial \xi_H}{\partial \xi_K} d\xi_K + \frac{\partial \xi_H}{\partial t} dt \quad (8)$$

З теорії лінійних рівнянь у частинних похідних для функціонала, що описує криву інтегральної якості отримуємо часткові похідні

$$\left. \begin{aligned} \frac{\partial \xi_K}{\partial t} &= - \frac{\Phi'_t(\xi_K, \xi_H, t)}{\Phi'_{\xi_K}(\xi_K, \xi_H, t)} \\ \frac{\partial \xi_H}{\partial t} &= - \frac{\Phi'_t(\xi_K, \xi_H, t)}{\Phi'_{\xi_H}(\xi_K, \xi_H, t)} \\ \frac{\partial \xi_H}{\partial \xi_K} &= - \frac{\Phi'_{\xi_K}(\xi_K, \xi_H, t)}{\Phi'_{\xi_H}(\xi_K, \xi_H, t)} \end{aligned} \right\} \quad (9)$$

Функціональна зміна інтегральної якості, вираженої через одну з її складових (узагальнених координат \$\xi\_K\$ і \$\xi\_H\$), описує реальний процес зміни відповідної узагальненої координати в часі. Тому справедлива рівність часткової похідної інтегральної якості за кожною з його координат і повною похідною, що відповідає складовій за тією координатою, тобто

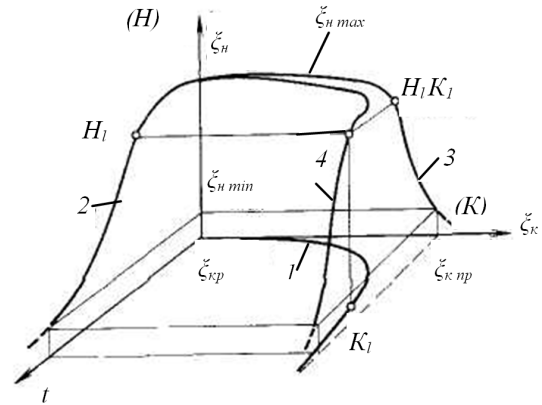


Рисунок 3 – Геометрична інтерпретація функціональної зміни інтегральної якості спорудження інженерної споруди

$$\left. \begin{aligned} \frac{\partial \xi_K}{\partial t} &= \frac{d\xi_K}{dt} \\ \frac{\partial \xi_H}{\partial t} &= \frac{d\xi_H}{dt} \\ \frac{\partial \xi_H}{\partial \xi_K} &= \frac{d\xi_H}{d\xi_K} \end{aligned} \right\} \quad (10)$$

З урахуванням формул (9) і (10) одержуємо

$$\left. \begin{aligned} \frac{d\xi_K}{dt} &= - \frac{\Phi'_{1t}(\xi_K, t)}{\Phi'_{1\xi_K}(\xi_K, t)} \\ \frac{d\xi_H}{dt} &= - \frac{\Phi'_{2t}(\xi_H, t)}{\Phi'_{2\xi_H}(\xi_H, t)} \\ \frac{d\xi_H}{d\xi_K} &= - \frac{\Phi'_{3\xi_K}(\xi_K, \xi_H)}{\Phi'_{3\xi_H}(\xi_K, \xi_H)} \end{aligned} \right\} \quad (11)$$

Вираз для повного диференціала (10) з урахуванням системи (11) прийме вигляд

$$d\xi_H = - \frac{\Phi'_{3\xi_K}(\xi_K, \xi_H)}{\Phi'_{3\xi_H}(\xi_K, \xi_H)} d\xi_K - \frac{\Phi'_{2t}(t, \xi_H)}{\Phi'_{2\xi_H}(t, \xi_H)} dt \quad (12)$$

Проводячи інтегрування рівності (12), одержуємо

$$\xi_H = - \int \frac{\Phi'_{3\xi_K}(\xi_K, \xi_H)}{\Phi'_{3\xi_H}(\xi_K, \xi_H)} d\xi_K - \int \frac{\Phi'_{2t}(t, \xi_H)}{\Phi'_{2\xi_H}(t, \xi_H)} dt \quad (13)$$

Аналогічно

$$\xi_K = - \int \frac{\Phi'_{3\xi_H}(\xi_K, \xi_H)}{\Phi'_{3\xi_K}(\xi_K, \xi_H)} d\xi_H - \int \frac{\Phi'_{1t}(t, \xi_K)}{\Phi'_{1\xi_K}(t, \xi_K)} dt \quad (14)$$

Межі інтегрування в рівняннях (13), (14) вибирають виходячи з реальних умов конструктивного, технологічного й експлуатаційного змісту спорудження, вважаючи, що рівень його якості безперервно змінюється в часі, що описано виразом

$$\begin{aligned} \xi_{K0} \left( \sum_{i=1}^n x_{0i}, \sum_{i=1}^n y_{0i} \right) &\rightarrow \xi_{K_{ti}} \left( \sum_{i=1}^n x_{ti}, \sum_{i=1}^n y_{ti} \right) \rightarrow \\ &\rightarrow \xi_{K_{np}} \left( \sum_{i=1}^n x_{np_i}, \sum_{i=1}^n y_{np_i} \right) \end{aligned}$$

При цьому рівень надійності відповідно змінюється так:

$$(\xi_n)_{\max} \rightarrow (\xi_n)_{i_j} \rightarrow (\xi_n)_{\min}.$$

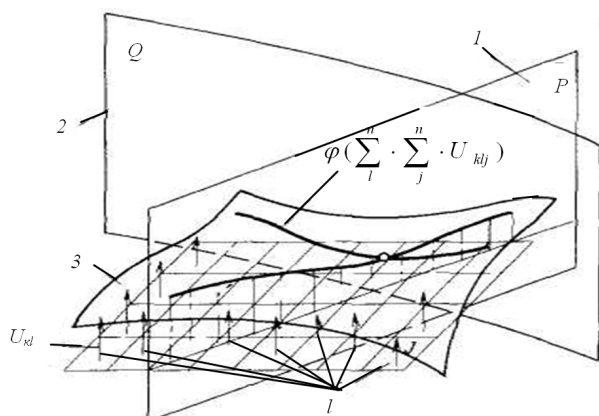
Керування якістю спорудження об'єктів будівництва в рамках галузевої системи передбачає комплексне вирішення завдання на різних рівнях функціонування системи. Із цього погляду науковий інтерес представляють питання пошуку ефективних керуючих впливів й обґрунтування прийнятих рішень за різними критеріями оптимальності.

Розглянемо часткову модель системи керування якістю за інтегральною сукупністю однозначно орієнтованих векторів  $\bar{U}_{kij}$  (рис. 4).

Координати вершин векторів  $\bar{U}_{kij}$  визначають поверхню рівня якості  $\Omega(x, y, z) = 0$  у просторі  $(x, y, z)$ . Пошук раціональних, а також оптимальних керуючих впливів у рамках всієї системи керування зводиться до розв'язання двох задач:

1) визначення керуючої характеристики за рівняннями кривої, що проходить у площині (або довільної поверхні) оптимізації через вершини векторів  $\bar{U}_{kij}$ ;

2) визначення керуючого впливу за координатою вектора, обумовленого перетинанням двох поверхонь оптимізації з поверхнею рівня якості.



1 – площина оптимізації; 2 – поверхня оптимізації; 3 – поверхня рівня УКС ( $\Omega$ )

**Рисунок 4 – Модель управління якістю будівництва інженерної споруди**

У першому випадку здійснюється пошук множин рішень в площині

$$\frac{\partial \Omega}{\partial x}(X - x) + \frac{\partial \Omega}{\partial y}(Y - y) + \frac{\partial \Omega}{\partial z}(Z - z) = 0, \quad (15)$$

що проходить через точку  $(X, Y, Z)$  кривої і задовольняє рівнянню

$$\left. \begin{aligned} \Omega(x, y, z) &= 0 \\ P(x, y, z) &= 0 \end{aligned} \right\} \quad (16)$$

або

$$\left. \begin{aligned} \Omega(x, y, z) &= 0 \\ Q(x, y, z) &= 0 \end{aligned} \right\} \quad (17)$$

У другому випадку точковий розв'язок знаходиться спільним шляхом спільного розв'язання системи рівнянь

$$\left. \begin{aligned} \Omega(x, y, z) &= 0 \\ P(x, y, z) &= 0 \\ Q(x, y, z) &= 0 \end{aligned} \right\} \quad (18)$$

Комплексна оптимізація в системі керування якістю будівництва інженерних споруд є складною науковою проблемою, розв'язок якої може бути ефективним тільки у випадку ретельно організованого потоку інформації про якість будівництва, що передбачає його оброблення засобами автоматизованих систем.

**Висновок.** У колі дослідження якості багатьох будівельних конструкцій широке застосування знаходять як детерміновані методи наукового пізнання, так й імовірнісні побудови практичних задач. В основі наукових рішень даних явищ зазвичай покладено жорстко детерміновані моделі, що описують причинну обумовленість і підлеглисть цих явищ дії конкретних законів. Проте в даний час намітився виражений перехід від класичної концепції лапласівського детермінізму, що розглядає ймовірність події як міру нашого знання (пов'язану лише з рівнем інформації, якою ми володіємо), до сучасного трактування ймовірності як категорії, що характеризує властивості самого об'єкта. Вважається правомірним розглядати будь-яку конструкцію не як однозначно детерміновану, а як статистично обумовлену систему, що опирається на імовірнісні посилання.

### Література

1 Молдаванов О.И. Количественная оценка качества сооружения магистральных трубопроводов / О.И. Молдаванов, А.А. Никитин, А.А. Шишов // Строительство трубопроводов. – 1976. – № 11. – 79 с.

2 Мартинюк Р.Т. Вплив якості спорудження нафтопроводів на їх експлуатаційну надійність [Текст] : дис. ... канд. техн. наук : 08.04.10 / Мартинюк Ростислав Тарасович. – Івано-Франківськ, 2010. – 162 с.

Стаття надійшла до редакційної колегії 30.06.10

Рекомендована до друку професором Грудом В.Я.