

ОПТИМІЗАЦІЯ ЯКОСТІ СПОРУДЖЕННЯ ТА РЕМОНТУ ТРУБОПРОВОДІВ

Р.Т.Мартинюк, В.Я.Грудз, О.Т.Чернова

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

Рассмотрен вопрос об оптимизации качества сооружения и ремонта трубопроводов на всех стадиях сооружения. Дана оценка и характеристика качества сооружения трубопроводов.

In the article it was examined the question about perfection of quality of pipelines' building and repairing at all grades. It was given mark and characteristics of quality of pipelines' building.

Реальний процес спорудження магістрального трубопроводу характеризується безліччю самостійних стадій, що формують потенційні рівні якості (конструктивно-технологічні потенціали). Кожна стадія, правду кажучи, формує деякий локальний рівень якості трубопроводу, що споруджується з певною вірогідністю [1]

$$P(a < \omega < b) = \int_a^b f(\omega) d\omega, \quad (1)$$

де a і b — межі формованого інтервалу якості ω .

Кожна стадія спорудження трубопроводу характеризується певною областю практичного розсіювання можливих значень параметра якості. Ширина такої області, що кількісно виражається через середнє квадратичне відхилення або дисперсію розподілу параметра ω , є в той же час характеристикою технічного рівня конкретної стадії (точності виготовлення, рівня дефектності та ін.). З моделі оптимізації якості спорудження, що зображена на рисунку 1, видно, що найбільш вірогідна якість Ω закінченого будівництва зумовлена сукупністю значень

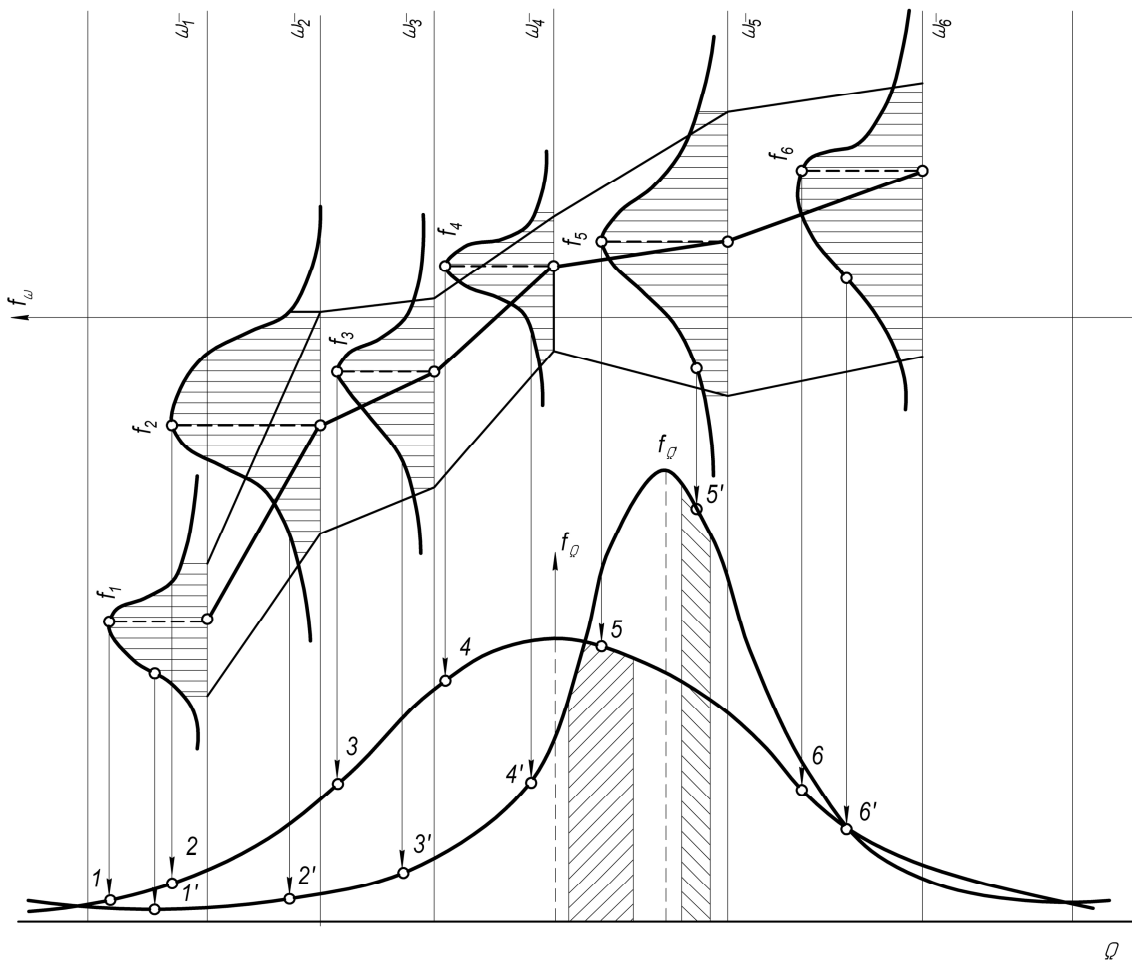


Рисунок 1 — Модель оптимізації якості спорудження

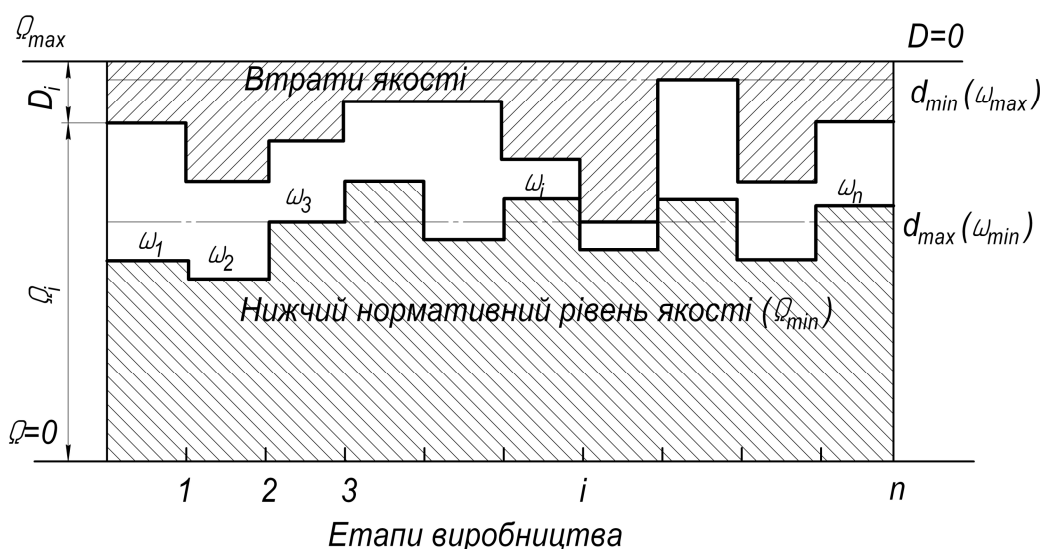


Рисунок 2 — Схема формування рівнів якості

окремих параметрів якості ω (по стадіях створення) з найбільшою щільністю вірогідності $f_1(\omega) \dots f_2(\omega)$. Тому крива розподілу $f(\Omega)$, побудована за точками 1, 2, 3... відповідних розподілів одиничних параметрів з урахуванням зв'язків, що існують між ними, описує реальну характеристику вірогідної якості спорудження загалом.

Гносеологічно оптимізація якості спорудження є імовірнісним переходом від характеристики $f(\Omega)$, що виражає деяку статистичну сукупність значень критеріїв і показників якості створюваної конструкції, до характеристики $f(\Omega')$, що відповідає регламентованим вимогам, що висуваються до конкретних властивостей.

Здійснення оптимізації в рамках рішення варіаційних завдань з управління якістю доцільне з позицій взаємозумовленого детермінованого переходу, причому $d\omega_x = \varphi'(\omega_y) \cdot d\omega_y$. Тоді взаємозумовленість розподілів набуде вигляду

$$\int_{\omega_{x1}}^{\omega_{x2}} f(x) d\omega_x = \int_{\varphi(\omega_{y1})}^{\varphi(\omega_{y2})} f[\varphi(\omega_y)] d\varphi(\omega_y) = \int_{\omega_{y1}}^{\omega_{y2}} f[\varphi(\omega_y)] \varphi'(\omega_y) d\omega_y \quad (2)$$

Реальний процес будівництва трубопроводу загалом формує і реальний рівень його якості, що характеризується цілком певним конструктивно-технологічним потенціалом. Функціонально такий потенціал може бути описаний характеристиками:

а) накопичення якості по абсолютних величинах формованих параметрів якості ω_i або

$$\text{для всієї системи } \Omega \left(\sum_{i=1}^n \omega_i \right);$$

б) втрати якості по абсолютних величинах дефектів (окремих невідповідностей формованих параметрів якості вимогам, встановленим нормативною документацією) d_i , що утворюються, або для всієї системи $D \left(\sum_{i=1}^n d_i \right)$.

На рисунку 2 представлена схема формування рівнів якості спорудження трубопроводу за фактичними значеннями характеристик D на всіх етапах виробництва робіт.

Реальний резерв створюваного об'єкта за формованою якістю зумовлений взаємозв'язаним переходом

$$\Omega_{\max} \left(\sum_{i=1}^n \omega_{i \max} \right) \rightarrow D_{\min} \left(\sum_{i=1}^n d_{i \min} \right), \quad (3)$$

у зв'язку з чим оптимізація якості спорудження за будь-яким критерієм може бути реалізована у вигляді

$$\Omega_{opt} \rightarrow opt \left[\sum_{i=1}^n \left(\frac{\omega_i}{\omega_{N_i}} \right) \right], \quad (4)$$

де ω_{N_i} — нормативне значення i -го параметра якості.

Характеристика фактичного стану будь-якої конструкції як на етапі її створення, так і в процесі експлуатації може бути представлена двома шляхами:

1) за середньостатистичними параметрами властивостей самої конструкції (міцності, стійкості, герметичності та ін.);

2) за окремими фактичними значеннями параметрів конструкції (локальними деформаціями, результатами окремих вимірювань параметрів якості і т.п.).

Обидва підходи до розгляду стану системи дозволяють ввести деякі аксіоматичні принципи, що стосуються формування якості трубопроводної системи з позиції деяких термодинамічних аналогій втрати якості.

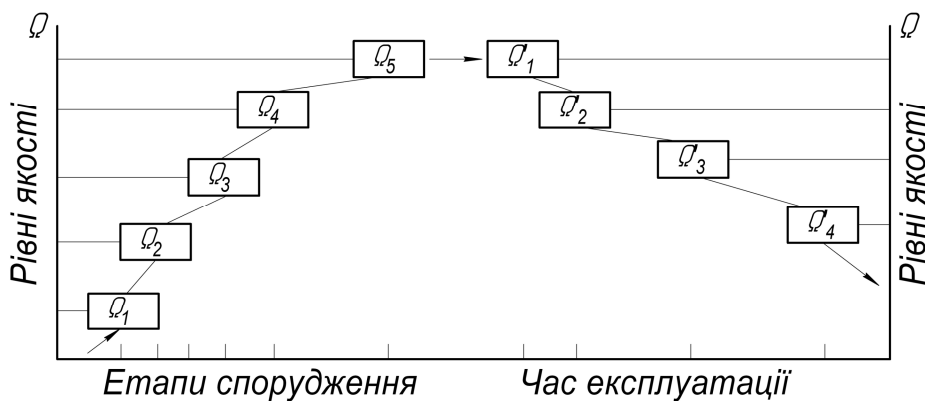


Рисунок 3 — Схема переходу рівноважних станів трубопровідної системи в процесі спорудження і експлуатації

Перший підхід, що базується на загальних закономірностях переходу конструкції від одного стану до іншого, обумовлює кінцевий результат фактичного стану. Другий підхід, що базується на детальному вивченні характеру внутрішніх взаємозв'язків, що протікають в елементах трубопровідної конструкції, обумовлює специфічні риси проміжних станів конструкції.

Центральне місце в аксіоматичній побудові принципів формування якості трубопровідної системи в процесі її спорудження і експлуатації належить умовній рівновазі системи за різними критеріями її станів. З термодинамічної точки зору трубопровідна система (або її конструктивна частина) знаходиться в рівновазі в тому випадку, якщо середньостатистичні значення параметрів її якості залишаються постійними в регламентованих межах. Реальні процеси спорудження і експлуатації трубопроводу можуть бути описані схемами переходу рівноважних станів конструкції за допомогою системи пара-

метрів її якості $\sum_{i=1}^n \omega_i$ (рис. 3). Перехід системи

$\Omega_1 \rightarrow \Omega_2 \rightarrow \Omega_3 \rightarrow \dots \rightarrow \Omega_i'$ і $\Omega_1' \rightarrow \dots \rightarrow \Omega_i'$ відбувається через проміжні стани, які визначаються фізико-механічними, хіміко-технологічними, реологіями і іншими властивостями конструкції.

Переходи рівноважних станів системи є взаємозумовленими з погляду розвитку причинно-наслідкових зв'язків. Згідно з термодинамічним принципом зсуву рівноваги Ле-Шательє, якщо систему, що знаходиться в рівновазі, піддати зовнішній дії, що порушує цю рівновагу, виникає нова рівновага, перехід до якої здійснюється процесом, який прагне протидіяти вказаній дії. З фізико-механічної точки зору трактування цього принципу стосовно спорудження трубопровідної системи може бути таким. При переході від однієї технологічної операції (або етапу будівництва) до іншої зумовлюється новий рівноважний стан системи

$$\Omega \left(\sum_{i=1}^n \omega_i \right)_I \rightarrow \Omega \left(\sum_{i=1}^n \omega_i \right)_{II}$$

Направлена технологічна дія, що є зовнішньою відносно системи, зумовлює виникнення реакції системи, що виражається плавною або стрибкоподібною зміною фактичного рівня якості (зміною рівня напружено-деформованого стану, появою або закономірним зростанням дефектності та ін.). Форми прояву реакції системи не впливають власне на перехід системи в новий рівноважний стан з погляду взаємної зумовленості такого переходу. Викладений принцип зсуву рівноваги — це зручна аналогія механізму формування якості системи за критеріями її напружено-деформованого стану або рівня дефектності [2].

Розглянемо декілька прикладів формування якості трубопроводу з позицій термодинамічної аналогії втрати якості.

Трубопровід, зварений в нитку і лежачий на бровці траншеї, є системою, що знаходиться в рівноважному стані і характеризується деяким реальним рівнем напружено-деформованого стану Δ_I і дефектності d_I .

При опусканні трубопроводу в траншею система переходить в новий рівноважний стан (Δ_{II}, d_{II}) , відмінний від першого (Δ_I, d_I) . Ступінь кількісної відмінності в станах трубопровідної системи залежить від реакції системи, обумовленої багатьма чинниками (конструктивними параметрами трубопроводу, фізико-механічними властивостями матеріалів конструкції, умовами виробництва робіт та ін.).

Ізоляційне покриття до нанесення його на поверхню трубопроводу утворює з останнім рівноважну систему, що характеризується сукупністю певних значень параметрів якості (а саме, матеріалу покриття і стану поверхні трубопроводу). В процесі нанесення ізоляції, тобто повідомлення системи зовнішньої, технологічної дії, здійснюється закономірний перехід в інший рівноважний стан — ізольований трубопровід, який характеризується наявністю напружень в матеріалі ізоляції (відмінних від первинних значень) і рівнем дефектності.

Функціональний процес переходу станів системи може бути описаний ентропією. Оскільки реальний процес спорудження системи на

будь-якому з його етапів вносить цілком певні пропорції між формованими параметрами, методично правомірно розглядати ентропію як функцію стану системи. Якщо припустити, що процес спорудження магістрального трубопроводу протікає стихійно, носить некерований характер (наприклад, при повній відсутності контролю), то такий процес аналогічно можна вважати термодинамічно незворотно замкнутим (що незворотно змінює свій стан) із закономірно зростаючою ентропією. Але реальному процесу спорудження трубопроводу властивий виробничий контроль, що вносить умовність до поняття незворотності процесу будівництва. В результаті загальна тенденція зростання ентропії якості трубопроводу набуває дещо іншого характеру, втрачаючи свою стабільність.

Використання поняття ентропії як функції стану системи, рівносильне засобам її якості, дає змогу будь-яку зміну стану системи представити як результат нескінченного великого числа нескінченно малих змін. При кожній такій нескінченно малій зміні стану система або збільшує, або зменшує свій конструктивно-технологічний потенціал, або, інакше, система або накопичує, або втрачає свою якість.

Введемо такі основні характеристики спорудження трубопроводної системи:

A — робота над системою щодо переведення її із стану з одним рівнем якості в стан з іншим рівнем;

Ω_c — якість спорудження як конструктивно-технологічний потенціал трубопроводної системи, що характеризує її стан;

Ω_s — експлуатаційна якість системи, що виражає рівень її надійності при експлуатації.

Фактично Ω_c характеризує енергетичні можливості системи, а Ω_s — роботу, що здійснюється системою з конкретним конструктивно-технологічним потенціалом в діапазоні конкретних експлуатаційних навантажень.

Виходячи із закону збереження енергії, маємо

$$dA = d\Omega_c + d\Omega_s, \quad (5)$$

звідки характеристика стану системи при переході від одного рівня якості до іншого має вигляд

$$\int_I^II d\Omega_c = \Omega_{II} - \Omega_I = \int_I^II d\Omega_s - \int_I^II dA. \quad (6)$$

Будемо вважати dA позитивною величиною, коли система підвищує свій конструктивно-технологічний потенціал (рівень дефектів $d = 0$), і негативним, коли вона втрачає якість (знижує свій потенціал). Позначимо інтегральну характеристику стану системи

$$S_\Omega = \int \frac{dA}{\Omega}, \quad (7)$$

де dA/Ω — приведена робота, що витрачається на спорудження (Ω — інтегральна якість системи).

Визначена таким чином величина S_Ω називається ентропією якості спорудження за термодинамічною аналогією цієї характеристики для оборотних кругових процесів.

Зміна ентропії системи, над якою здійснена нескінченно мала робота dA , визначається співвідношенням

$$dS_\Omega = \frac{dA}{\Omega}. \quad (8)$$

Скориставшись рівняннями (5), (8), за аналогією з першим початком термодинаміки, отримаємо

$$\Omega dS_\Omega = d\Omega_c + d\Omega_s. \quad (9)$$

Важливе методологічне значення має аналіз ентропії якості при зворотних і незворотних процесах спорудження систем. В якості критерію зворотності (незворотності) процесу будемо враховувати рівень виробничого контролю якості. Для реального процесу спорудження трубопроводної системи рівень виробничого контролю займає таке положення, при якому процес будівництва не є абсолютно зворотним або незворотним. Тому зміна ентропії якості dS_Ω не є постійною.

Так, наприклад, при реалізації технологічних процесів, накопичених дефектів, що характеризуються величинами d_I, d_{II} , ентропійна зміна стану трубопроводної системи $\Omega(d_{II} + d_I)$ матиме вигляд $dS_{\Omega_{II}} - dS_{\Omega_I}$ або з урахуванням виразу (8) загальна зміна ентропії

$$dS_\Omega = \left(\frac{1}{\Omega_{II}} - \frac{1}{\Omega_I} \right) dA. \quad (10)$$

Якщо загальна втрата якості системи за абсолютною величиною збільшується, тобто $(d_{II} + d_I) > d_I$ і відповідно $\Omega_{II} < \Omega_I$, то $dS_\Omega > 0$ ентропія системи в цілому зростає.

Таким чином, важлива вимога до процесу спорудження трубопроводної системи полягає в тому, щоб закономірна тенденція зростання ентропії якості системи була строго регламентована жорстким діапазоном кількісних норм на всі параметри будівництва.

Література

1. Молдаванов О.И. Качество сооружения магистральных трубопроводов. — М.: Недра, 1979. — 223 с.
2. Молдаванов О.И., Молдаванов И.И. Количественная оценка качества уплотнения трубопроводной арматуры. — М.: ВНИИЭ Газпром, 1973. — 241 с.