

## ПРОГНОЗУВАННЯ РЕСУРСУ ТРУБОПРОВОДУ НА ОСНОВІ СТОХАСТИЧНИХ МОДЕЛЕЙ

*Р.Т.Мартинюк*

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

*Розглядаються значення динаміки формування якості за рівнем дефектності трубопровідної системи*

*Rассматривается динамика формирования качества по уровню дефектности трубопроводной системы.*

*The dynamics of forming qualities after the level of defect of pipeline system is described.*

На пізній стадії експлуатації оцінити реальний технічний стан магістральних газопроводів неможливо. Проте оскільки від величини залишкового ресурсу залежить план проведення робіт з обслуговування і реконструкції трубопровідної системи, тому методам прогнозування ресурсу трубопроводів з тривалим терміном експлуатації приділяється особлива увага.

На даний час основні методи визначення залишкового ресурсу газонафтопроводів базуються на статистичній обробці експлуатаційних параметрів із врахуванням інтенсивності відмов і зниження показників надійності в часі. Зниження показників міцності і тріщиностійкості трубопровідної системи під час роботи газопроводу визначає критичний період часу, понад який експлуатація системи стане неефективною внаслідок зростання інтенсивності відмов, а, значить, і затрат на транспортування. Такий характер поведінки системи в часі ідентифікується із зростанням ентропії транспортного комплексу як складової термічної системи. Тому, аналізуючи зміну ентропії якості трубопровідної системи, можна визначити з певною імовірністю період її експлуатації до досягнення критичного технічного стану, тобто залишковий ресурс трубопроводу.

Аналіз термодинамічних аналогій втрати якості трубопроводу дає підстави зробити висновок про наявність закономірних взаємозумовлених переходів станів конструкції, що характеризуються параметрами розподілу дефектів, що утворюються. При цьому інтенсивність виникнення таких дефектів значною мірою обумовлюється можливими взаємозв'язками факторів, що супроводжують процеси спорудження й експлуатації трубопроводу. Функціональною характеристикою стану трубопровідної системи на стадії як спорудження, так і експлуатації є ентропія якості, що описується виразом

$$S_{\Omega} = \int \frac{dA}{\Omega}, \quad (1)$$

де  $\frac{dA}{\Omega}$  – приведена робота, затрачувана на процес ( $\Omega$  – інтегральний показник якості системи).

Ентропія  $S_{\Omega}$  як міра стабільності вихідного конструктивно-технологічного потенціалу системи, що змінюється відповідно до діючих закономірностей, певним чином пов'язана з кореляційним моментом  $K_{\delta_i \delta_j}$  узагальнених параметрів якості  $\delta_i, \delta_j$ , що характеризують втрати якості.

Розглянемо динаміку формування рівнів якості трубопроводу за критерієм нагромадження дефектності в процесі виготовлення труб і під час будівельно-монтажних робіт (рис. 1). Характеристика процесів виготовлення і спорудження трубопроводу подаються по стадіях розвитку дефектності, що накопичується, (відносні значення коефіцієнта дефектів зазначені відсотках). Розподіл узагальнених параметрів дефектності по стадіях проведення робіт схематично зображені у вигляді функцій щільності імовірності можливих значень параметрів  $\delta_i, \delta_j$ .

У ході випробовування трубопроводу як завершальної стадії формування його якості рівень останніх підвищується здебільшого за рахунок усунення накопичених дефектів. Це призводить до стабілізації розподілів значень одиничних параметрів  $\sigma_i$  якості, що можна відобразити як перехід

$$\sigma(\omega_i) \rightarrow \sigma_y(\omega_i); \sigma_{випр}(\omega_i) \leq \sigma_y(\omega_i).$$

Підвищення рівня якості трубопровідної системи, на завершальній стадії випробовування обумовлено примусовим зниженням ентропії якості. Гносеологічно таке зниження ентропії відповідає законам заперечення (перехід дефектів у процесі спорудження з докритичної області в критичну заперечується на стадії випробовування трубопроводу на міцність і герметичність).

Таким чином, може бути введено поняття ентропійного ресурсу трубопроводу як міри його експлуатаційної надійності за критерієм рівня дефектності, яким трубопровід характеризується після завершення випробовувань, тобто

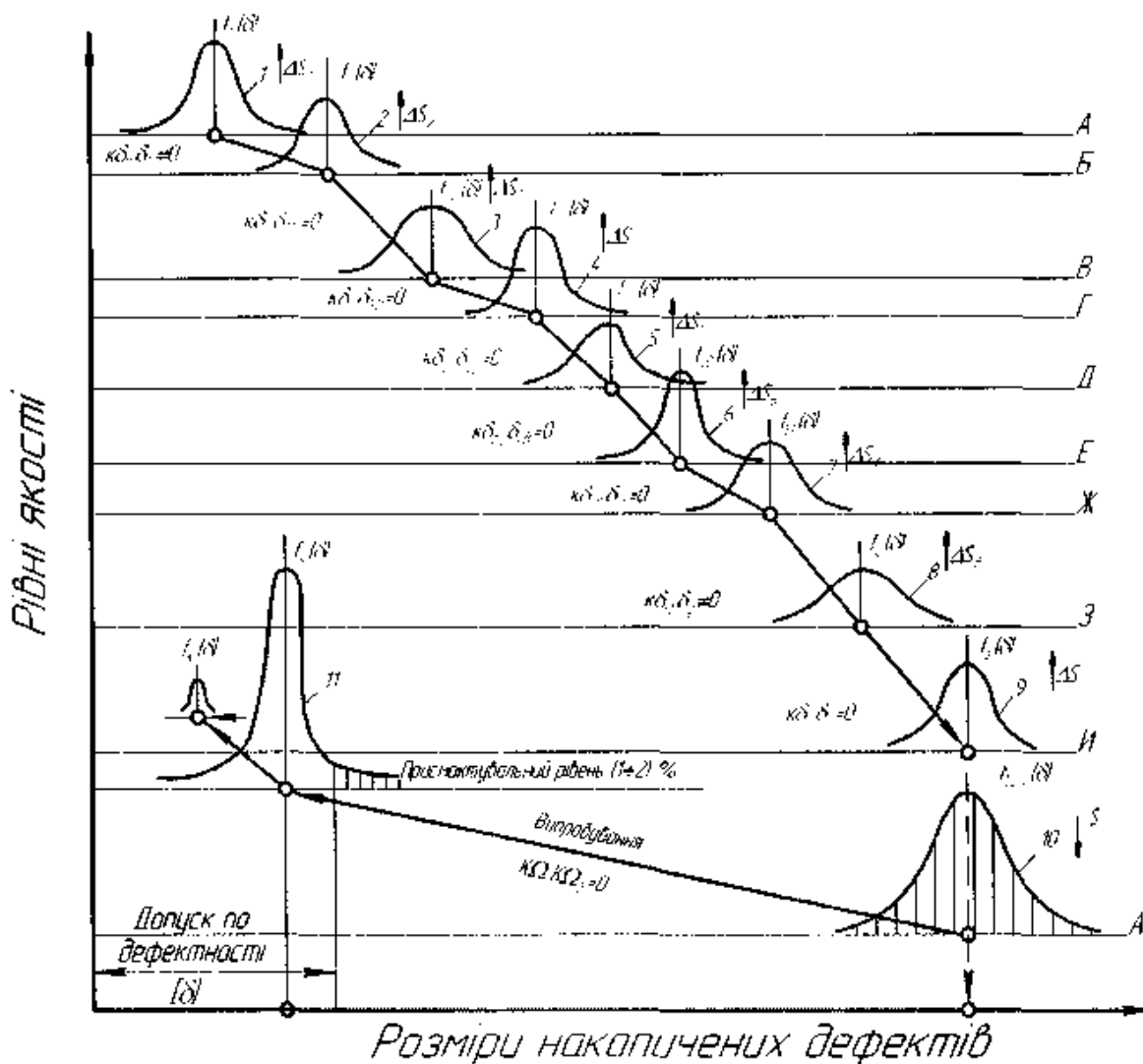


Рисунок 1 — Динаміка формування рівнів якості

$$T_{\Omega} = f \left[ \Omega_e \left( D \left( \sum_{i=1}^n d_{ei} \right); z_e \right) \right]. \quad (2)$$

Оскільки ентропія якості  $S_{\Omega}$  безпосередньо пов'язана з імовірністю стану, що адекватно визначає і ймовірну якість трубопроводу, то вираз ентропійного ресурсу містить параметри розподілів усіх можливих дефектів у номенклатурному полі якості трубопровідної системи.

Етапи роботи: А – виготовлення листового прокату (7–14%); Б – виготовлення труб (заводське зварювання) (11–15%); В – транспортування труб, включаючи навантажувально-розвантажувальні роботи (20–22%); Г – складування по шляху проходження (1–2%); Д – складування на місцях призначення, включаючи вантажно-розвантажувальні роботи (15–20%); Е – зварювання нитки трубопроводу (20–28%); Ж – ізолявальні роботи (1–3%); З – укладання трубопроводу в траншею; И – засипання трубопроводу ґрунтом (2–5%); ДО – гідравлічні випробовування на міцність і герметичність.

Оскільки умови експлуатації трубопроводу, що характеризуються функціональним параметром  $z_e$ , обумовлюють конкретний процес зміни якості в часі, то отриманий вираз може бути перетворено з врахуванням формули (1) шляхом переходу до функціональної характеристики  $\Omega = f(t)$ .

Прийнявши, що робота з формування якості трубопроводу, визначений конструктивно-технологічний потенціал якої  $\Omega_0$  витрачається у ході його експлуатації на перехід  $\Omega_0 \rightarrow \Omega_{zp}$ , якому відповідає величина напрацювання  $t = T_w$ , можна записати

$$dA = \mu dF = \mu \Omega(t) dt, \quad (2)$$

де:  $d$  – елемент площі під функціональною кривою  $\Omega(t)$ ;

$\mu$  – коефіцієнт, що залежить від фактичної пропорції між величинами  $A$  і  $\Omega = \Omega_0 - \Omega_{zp}$ .

Підставивши вираз для елемента роботи з (2) у формулу (1), одержимо

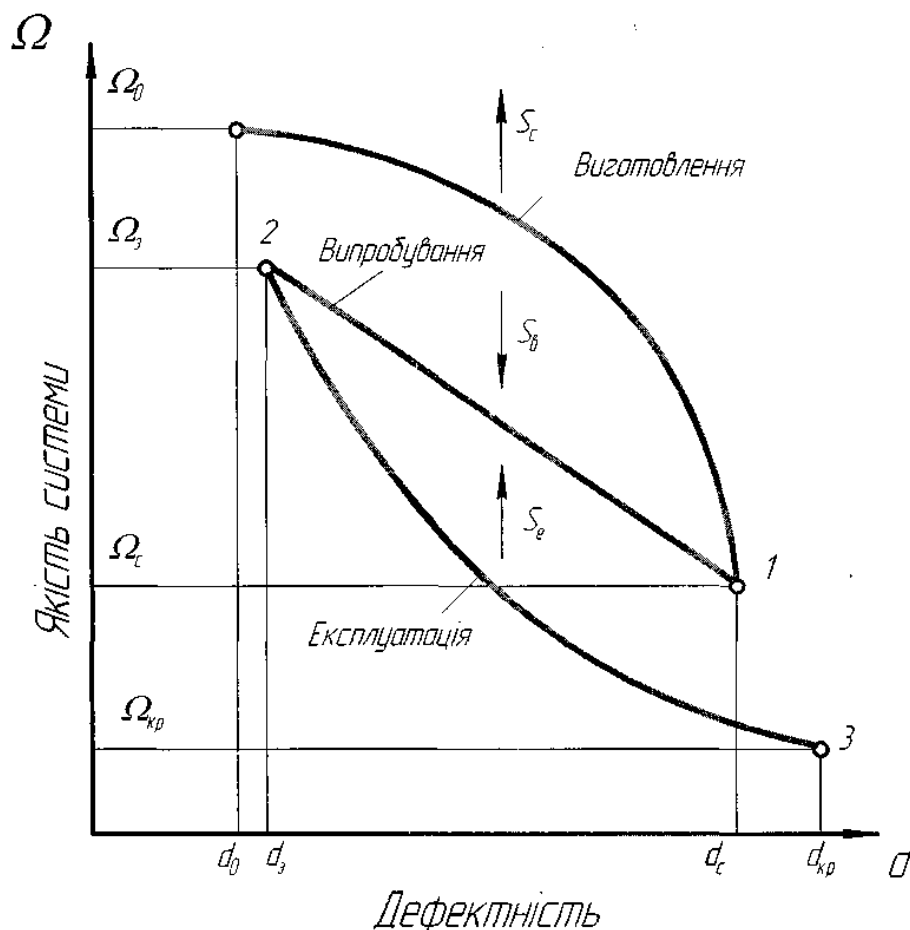


Рисунок 2 — Функціональний характер ентропійної зміни якості трубопровідної системи

$$S = \int_0^{T_0} \mu \frac{\Omega(t)}{\Omega} dt,$$

а з огляду на те, що  $\Omega = \Omega_0 \rightarrow \Omega_{zp}$

$$S = \frac{\mu}{\Omega - \Omega_{zp}} \int_0^{T_0} \Omega(t) dt. \quad (3)$$

Звідси можна визначити нетропічний ресурс трубопроводу  $T_{\Omega}$ .

Розкриємо імовірнісний зміст ентропії за термодинамічною аналогією у формі Больцмана

$$S = \nu \ln \left( \frac{P}{P_0} \right), \quad (4)$$

де:  $P, P_0$  - відповідно імовірності перебування трубопровідної системи в кінцевому і початковому станах розглядуваного тимчасового інтервалу;

$\nu$  - коефіцієнт, що виражає співвідношення між одиницею роботи з формуванням й інтегральною якістю трубопровідної системи.

З огляду на те, що за час експлуатації трубопроводу, рівний його ентропійному ресурсу  $T_{\Omega}$ , робота з формування реалізується на перехід системи  $\Omega_0 \rightarrow \Omega_{zp}$ , причому  $\Omega_0 \geq \Omega_{zp}$

обумовлюється монотонним спаданням функції  $\Omega(t)$ . Розв'язавши систему рівнянь (3), (4), після нескладних перетворень одержимо

$$P = P_0 \exp \left( - \frac{\mu}{\nu |\Omega_{zp} - \Omega_0|} \right) \int_0^{T_0} \Omega(t) dt. \quad (5)$$

Вираз (5) встановлює взаємозв'язок між параметрами якості трубопроводу, його ресурсом і ймовірностями початкового (відповідному параметру  $\Omega_0$ ) і кінцевого (відповідному параметру  $\Omega_{zp}$ ) станів.

### Література

- 1 Орехов В.И. Управление качеством трубопроводного строительства. - М.: Недра, 1988. - 149 с.
- 2 Молдаванов О.И. Качество сооружения магистральных трубопроводов. - М.: Недра, 1979. - 222 с.

Стаття поступила в редакційну колегію  
19.12.08

Рекомендована до друку професором  
В. Я. Грудзом