

До питання побудови експертної методики аналізу знеміцнення складових трубопровідних систем на основі підходів механіки руйнування

Микола Кузін

доктор технічних наук, професор, провідний науковий співробітник,
Львівський науково-дослідний інститут судових експертиз
Мін'юсту України, м. Львів, Україна,
ORCID: orcid.org/0000-0002-6032-4598,
e-mail: kuzin.nick81@gmail.com

Петро Грицишин

кандидат технічних наук, доцент, провідний науковий співробітник,
Львівський науково-дослідний інститут судових експертиз
Мін'юсту України, м. Львів, Україна,
ORCID: orcid.org/0009-0000-5909-947X,
e-mail: p.hrytsyshyn@gmail.com

Олег Джус

завідувач лабораторії, Львівський науково-дослідний інститут
судових експертиз Мін'юсту України, м. Львів, Україна,
ORCID: orcid.org/0000-0002-7577-4049,
e-mail: djusov22@gmail.com

Андрій Батіг

старший науковий співробітник, Львівський науково-дослідний
інститут судових експертиз Мін'юсту України, м. Львів, Україна,
ORCID: orcid.org/0000-0003-1205-6004,
e-mail: ashabatig1992@gmail.com

Наталя Хомич

кандидатка сільськогосподарських наук, заступниця директора
з наукової роботи, Львівський науково-дослідний інститут
судових експертиз Мін'юсту України, м. Львів, Україна,
ORCID: orcid.org/0009-0008-9857-2221,
e-mail: homicnata@gmail.com

Проведено аналіз сучасного стану трубопровідних систем України. Показана необхідність упровадження нових методик судової експертизи для їх дослідження. Наведено узагальнену схему їх побудови на основі підходів механіки руйнування.

Ключові слова: *судова експертиза; трубопроводи; механіка руйнування.*

On Developing an Expert Methodology for Analyzing the Weakening of Pipeline System Components Based on Fracture Mechanics Approaches

Mykola Kuzin, Petro Hhrytsyshyn, Oleh Dzhus, Andriy Batig, Natalia Khomych

The paper takes a closer look at the current state of Ukrainian pipeline systems. The necessity of introducing new forensic examination methods for their research has been demonstrated. A generalized scheme for their design on the basis of fracture mechanics approaches has been illustrated.

Keywords: *forensic examination; pipelines; fracture mechanics.*

Магістральні та промислові трубопровідні системи складають значну частину матеріальних активів підприємств. Дуже часто це високонавантажені конструкції, у які з метою економії закладено малий запас міцності. Станом на сьогодні інфраструктура трубопровідного транспорту в Україні характеризується високим рівнем як морального, так і фізичного старіння, що здатне спричинити серйозні матеріальні й людські втрати [1, 2].

Сучасні економічні вимоги щодо продовження термінів експлуатації трубопроводів також суттєво підвищують ризик знеміцнення та руйнування деталей елементів транспортної трубопровідної інфраструктури. Водночас необхідно враховувати, що процеси відмови можуть статися в різні часові інтервали, їх можуть спричинити багато чинників і, відповідно, це матиме негативні наслідки для безпеки функціонування елементів інфраструктури [3].

Технології утримання та ремонту елементів трубопровідних систем, які застосовують в Україні, часто не

до кінця враховують часові та міцнісні чинники, які призводять до зміни експлуатаційних характеристик елементів конструкцій, а також оцінку їх впливу на можливий вихід їх із ладу. Це призводить до виникнення ситуацій, під час дослідження яких експерт, що керується чинними в Україні нормативно-технічними документами, не в змозі встановити об'єктивну причину події та причиново-наслідкову послідовність обставин, що до неї призвели.

Додатковим обмеженням також є те, що найчастіше матеріали, які надають слідчі органи, містять неповну (фрагментарну) інформацію з різною достовірністю про роботу конструкції під час експлуатації.

Застосування несистемних методик під час аналізу подібних ситуацій дає результати лише в окремих випадках, оскільки ці підходи не враховують усієї складності процесів, які виникають у разі відмов. Одним зі шляхів вирішення цієї ситуації є побудова нових експертних методик на основі сучасних підходів системного

аналізу, матеріалознавства, механіки руйнування, математичного та комп'ютерного моделювання, хімії та фізики поверхні, що дають змогу здійснити реконструкцію процесів і з'ясувати причини, які призвели до відмов конструкцій [4].

На основі багаторічного експертного досвіду авторів з експлуатації інженерно-технічних систем пропонуємо алгоритмічну схему аналізу

пошкоджених конструкцій трубопроводного транспорту (див. рис.).

На нашу думку, за цією схемою можна найбільш повно проводити аналіз пошкоджень деталі (вузла, конструкції) і встановлювати причини й час їх виходу з ладу. Водночас елемент блок-схеми «Втомні тріщини і руйнування...» пропонуємо досліджувати за рівняннями, наведеними далі [5].

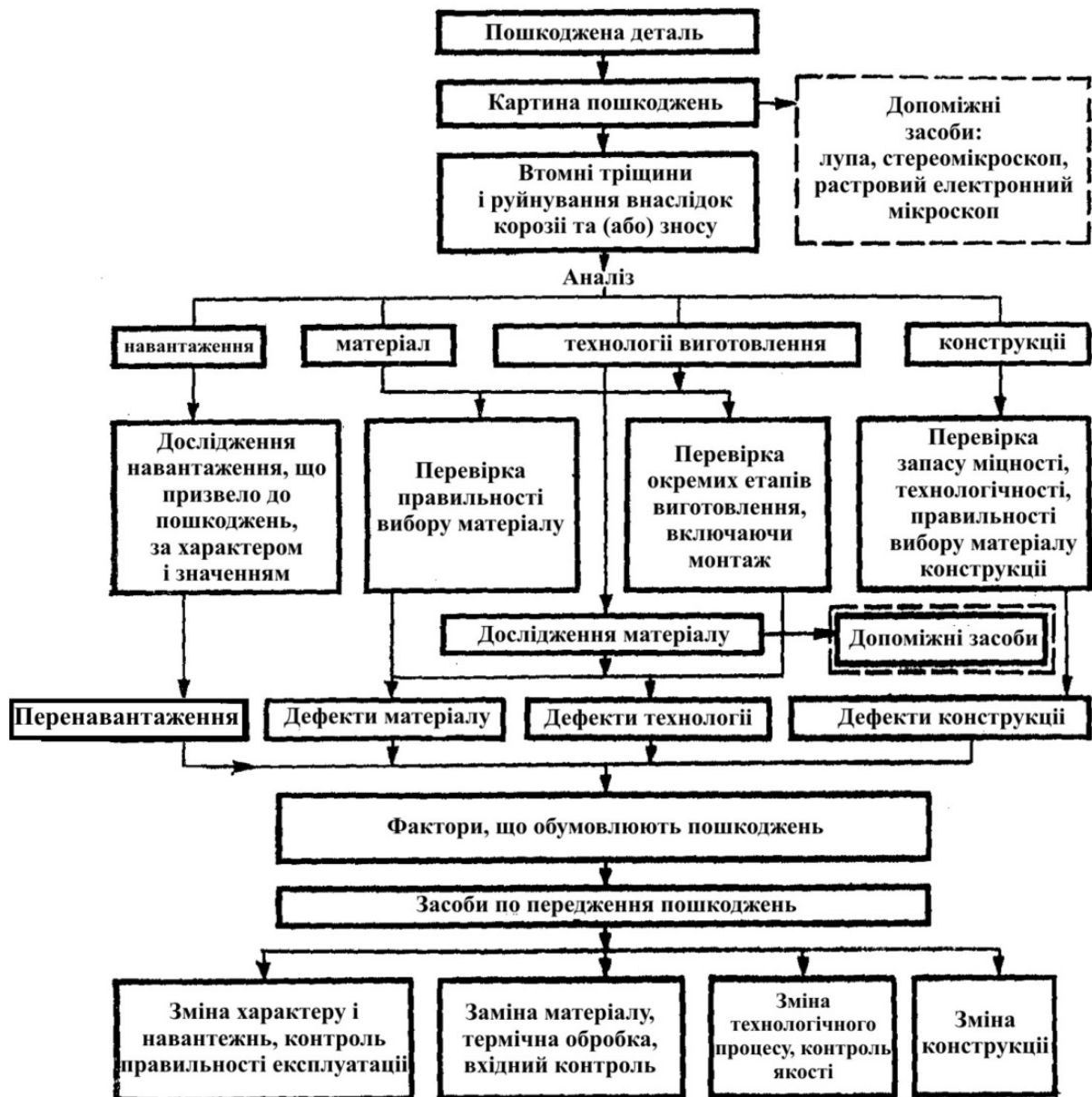


Рис. Схема аналізу пошкоджень деталей і вузлів

Прийmemo для інженерного спрощення лінійну механіку руйнування, а також, що закон росту (зростання) тріщини має вигляд:

$$\frac{dl}{dN} = C_0 (\Delta K)^n, \quad (1)$$

де C_0 , n — числові константи, які можна вибрати на основі довідкових (літературних) джерел [1], ΔK — розмах значень циклічного коефіцієнту інтенсивності напружень.

Також прийmemo, що зростання тріщини стається від розмірів l_0 до l_k , де l_0 — початковий розмір тріщини, l_k — критичний розмір тріщини.

Будемо вважати, що

$$\Delta K = \Delta \sigma \sqrt{l \cdot M}, \quad (2)$$

де $\Delta \sigma$ — розмах значень напружень у циклі, M — коригуюча функція, яка враховує розмір тріщини.

Із урахуванням співвідношень (1) і (2) отримаємо:

$$dl = C_0 (\Delta \sigma)^n (lM)^{n/2} dN \quad (3)$$

або

$$\int_{l_0}^{l_k} l^{-n/2} dl = \int_0^{N_k} C_0 (\Delta \sigma)^n (M)^{n/2} dN, \quad (4)$$

де N_k — число циклів, за якого руйнується об'єкт дослідження.

Приймаємо, що $n \neq 2$ (з позицій інженерної / експертної практики дуже складно досягти, щоб у формулі (1) дана константа чітко дорівнювала (2), і в результаті отримаємо:

$$N_k = \frac{1}{\tilde{N}_0 (\Delta \sigma)^n M^{n/2}} \cdot \frac{1}{\left(\frac{n}{2} - 1\right)} \cdot \left((l_k)^{1-n/2} - (l_0)^{1-n/2}\right) \quad (5)$$

Зі співвідношення (5) ми, знаючи величину навантаження, а також l_0 та l_k , можемо встановити кількість циклів роботи об'єкта дослідження до руйнування. У формулі (5) є спрощення у вигляді константи M — коригуючої функції, яка враховує розмір тріщини (як початкової, так і критичної). Для інженерних розрахунків прийmemo, що $M = \frac{1}{2} (M(l_0) + M(l_k))$.

Зауважимо, що співвідношення (1) — (5) дають змогу чисельно (на інженерному рівні) визначати причини відмови функціонування елементів трубопровідного транспорту (величини навантажень — режими експлуатації, поточний стан матеріалу та ін.) і їх вплив на зміну стану об'єкта дослідження.

Перелік джерел посилання

1. Банахевич Ю. В., Драгілев А. В., Дьомін Ю. М. та ін. Продовження ресурсу трубопровідного транспорту України. Львів, 2012. 280 с.
2. Технічна діагностика матеріалів і конструкцій : довід. посіб.

- У 8 т. / заг. ред. З. Т. Назарчук. Т. 4. Джала Р. М., Джала В. Р., Івасів І. Б. та ін. Електрофізичні методи неруйнівного контролю дефектності елементів конструкцій / за ред. Р. М. Джали. Львів, 2018. 356 с.
3. ДСТУ 2860-94 Надійність техніки. Терміни та визначення [Чинний від 01.01.1996]. URL: https://dnaor.com/html/2273/doc-%D0%94%D0%A1%D0%A2%D0%A3_2860-94 (дата звернення: 24.09.2024).
4. Bui H. D. Fracture Mechanics. Inverse Problems and Solutions. Springer, 2005. 375 p.
5. Гардерман В. Д. Техническая экспертиза разрушений деталей автомобилей. Киев, 1976. 356 с.