

УДК 622.692.4

**Онацький Є.А., магістр спеціальності 185 Нафтогазова інженерія та технології  
Науковий керівник: Коровяка Є.А., к.т.н., завідувач кафедри нафтогазової  
інженерії та буріння**

(Національний технічний університет «Дніпровська політехніка», м. Дніпро, Україна)

## **ДОСЛІДЖЕННЯ НАДІЙНОСТІ ПІДВОДНИХ ПЕРЕХОДІВ МАГІСТРАЛЬНИХ ТРУБОПРОВОДІВ**

У сучасних умовах розвитку нафтогазової галузі трубопровідний транспорт відіграє ключову роль у забезпеченні енергетичної безпеки та транспортуванні вуглеводнів. Підводні переходи магістральних трубопроводів, як критичні елементи інфраструктури, перетинають річки, озера та інші водні перешкоди, забезпечуючи безперервність постачань. Однак статистика свідчить, що саме ці ділянки є найбільш вразливими до аварій, становлячи до 70-80% усіх відмов у системах трубопровідного транспорту. Основні причини включають гідродинамічні впливи, корозію, руслові деформації, механічні пошкодження від судноплавства та льодоходу, а також вібраційні навантаження, які призводять до розмивів, провисань і розривів труб [1, 2].

Актуальність дослідження зумовлена старінням інфраструктури, де значна частина трубопроводів експлуатується понад 30-50 років, кліматичними змінами, що посилюють ерозію берегів і зміну режимів річок, а також високими екологічними ризиками витоків у водні об'єкти. Згідно з нормами ДБН та міжнародними стандартами (API, ISO), підвищення надійності вимагає інтеграції сучасних методів діагностики та технологій будівництва. Дослідження спрямоване на систематизацію факторів аварійності та обґрунтування ефективності сучасних технологій для прогнозування відмов і оптимізації експлуатації [3].

Підвищення надійності є глобальною проблемою технічного прогресу в трубопровідному транспорті. Підводні переходи характеризуються постійним гідростатичним тиском до десятків МПа, підвищеною корозійною активністю середовища, складністю контролю напружено-деформованого стану та високим екологічним ризиком. Вони вимагають забезпечення надійності для переходів через судноплавні річки з розмитими ділянками, конструкцій у вічній мерзлоті, слабонесучих ґрунтах і зсувних зонах. Надійність включає довговічність (здатність не досягати граничного стану при обслуговуванні), безвідмовність (збереження працездатного стану), збереженість (утримання параметрів під час зберігання) та ремонтпридатність (приспосованість до відновлення). Елементи, що впливають на відмови: склад металу труб, зварні з'єднання, конструктивні елементи, спосіб прокладання та протикорозійний захист. Резервування елементів з високою ймовірністю відмови є ефективним способом підвищення надійності [4].

Підводні переходи є найбільш аварійними через порівнянну вартість спорудження та ремонту. Найпоширеніша причина пошкоджень – розмив ґрунту, що призводить до відкритих ділянок, схильних до гідродинамічного впливу. Переформування русла річки ускладнює прогнозування, оскільки швидкісний потік викликає поперечний вигин трубопроводу та деформацію ґрунту, збільшуючи довжину оголеної ділянки.

Стійкість трубопроводу з провисами оцінюється в два етапи: перевірка на відсутність гідродинамічного резонансу та оцінка міцності з урахуванням навантажень від потоку. Модель розмитої ділянки – балка довжиною  $2L$  на пружній основі. Умова невивертання труби з траншеї:

$$f(l) \leq [f],$$

де  $f(l)$  – прогин на межі відкритої ділянки,  $[f]$  – граничне значення. Гранична довжина відкритої ділянки залежить від коефіцієнта ліжка ґрунту  $k$ .

Гідродинамічний резонанс перевіряється за рівнянням

$$\omega = [\omega],$$

де  $\omega$  – власна частота коливань системи,  $[\omega] = S_h V/D$  ( $S_h$  – число Струхаля,  $V$  – швидкість потоку,  $D$  – діаметр).

Навантаження від потоку: сили опору  $P_x = 1/2 C_x \cdot \rho \cdot v^2 \cdot D_H$ , підйомна  $P_y = 1/2 C_y \cdot \rho \cdot v^2 \cdot D_H$ , виштовхуюча  $P_{vit} = 1/4 \rho \cdot v \cdot D_H$ . Еквівалентна напруга визначається енергетичною теорією міцності, з критерієм  $[\sigma] \geq f \cdot \sigma_{екв}$  для мінімальної довжини  $l$ .

Спорудження проводиться методами похило-спрямованого буріння, мікротунелювання, щитової проходки, «труба в трубі» та траншейним способом, залежно від діаметра, гідрологічних показників та вимог.

Метод «кривих» уникає обмежень бестраншейної прокладки, використовуючи заздалегідь вигнуті труби (кут 2-9°, діаметр 600-1420 мм) як гібрид горизонтально-спрямованого буріння та мікротунелювання. Етапи: підготовчий (установка похилої конструкції з бетонною основою), запуск мікрощита (з ріжучими інструментами та гідротранспортом шламу), демонтаж обладнання та зварювання з випробуванням. Технологія дозволяє роботу в усіх типах ґрунтів, скорочуючи протяжність переходу, терміни (у 5-7 разів) та витрати. Зношування та пошкодження внаслідок корозії характеризуються руйнуванням металу та ізоляції через проникнення вологи під покриття (електроендоосмотичний процес). Електрохімічна корозія в електролітах (водні розчини солей, кислот) та ґрунтова корозія через неоднорідність сталі призводять до втрати міцності. Швидкість корозії залежить від течії води, подачі кисню та стирання пасивуючих плівок. Захист: катодний, дренажний, протекторний; покриття полімерно-дегтебітумні або резинобітумні. Коефіцієнт захищеності  $K_3 = (V_{k1} - V_{k2}) \cdot 100\%$ , де  $V_{k1}$  – швидкість без захисту,  $V_{k2}$  – з захистом.

Гідроморфологічні та гідрологічні фактори включають переформування русла, порушення заглиблення, корозію та ерозію берегів. Аналіз аварій: 72% – вібрація розмитих ділянок, 11% – механічні пошкодження, 9% – корозія. Розмиви глинистих порід залежать від частинок різної крупності, вібрація викликає втому металу. Деформація русла залежить від властивостей ґрунту, швидкості течії, вітру, льоду та антропогенної діяльності. Дослідження деформацій на 10-15 км вище переходу забезпечує безаварійну експлуатацію 30-50 років.

Дослідження дозволило систематизувати фактори аварійності підводних переходів та обґрунтувати ефективність сучасних технологій будівництва (метод «кривих», похило-спрямоване буріння) і діагностики (профілемери, магнітні дефектоскопи). Запропоновано комплексний підхід до прогнозування руслових деформацій і корозії з урахуванням гідроморфологічних особливостей. Класифікація за складністю та рекомендації щодо конструкцій, аналіз причин аварій і оцінка діагностики сприяють зниженню аварійності, підвищенню довговічності до 30-50 років і мінімізації ризиків. Результати мають стратегічне значення для енергетичної безпеки.

#### Список використаних джерел:

1. Денищенко, О.В., Барташевський, С.Є., Коровяка, Є.А. & Ширін, Л.Н. (2019). *Транспортування нафти, нафтопродуктів і газу*.
2. Бойко, В.С. (2004). *Розробка та експлуатація нафтових родовищ*. Київ: Реал-Принт. 695 с.
3. Коцкулич, Я.С. & Кочкодан, Я.М. (1999). *Буріння нафтових та газових свердловин*. Коломия: Вік. 504 с.
4. Костюченко, М.М. & Шабатин, В.С. (2005). *Гідрогеологія та інженерна геологія*. Київ: Київський університет. 159 с.