

**Пархонюк І.С., 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)

УДОСКОНАЛЕННЯ СТАБІЛІЗАЦІЇ ПРОЕКТНОГО ПОЛОЖЕННЯ ПІДВОДНИХ ПЕРЕХОДІВ ГАЗОПРОВОДІВ

Зростання аварій на магістральних газопроводах, особливо на тих, що експлуатуються понад 40 років, зумовлене гідродинамічними, температурними та геодинамічними впливами, що підкреслює необхідність нових методів стабілізації підводних переходів для забезпечення безпеки та зменшення екологічних ризиків. Магістральні газопроводи є високоенергонасиченими спорудами лінійної форми, які взаємодіють з ґрунтовим середовищем, що має різноманітні фізико-механічні властивості [1, 2]. На одних ділянках ґрунт може бути пухким і піщаним, на інших – скельним чи болотистим, що ускладнює забезпечення стабільності розрахункового положення труб. Досвід експлуатації показує, що повна фіксація трубопроводу в природному ґрунті неможлива, оскільки вплив на ґрунт призводить до його розпушення, ущільнення чи зсувів, викликаючи переміщення труб у поздовжньому та поперечному напрямках [3, 4].

Нестабільний стан трубопроводу визначається системою навантажень і впливів. Класифікація включає постійні навантаження (власна вага трубопроводу, вага ізоляційного покриття, тиск ґрунту, гідростатичний тиск води, попередня напруга від пружного вигину), тривалі тимчасові (внутрішній тиск, температурні дії), короткочасні (навантаження від обладнання, снігове навантаження) та особливі (селеві потоки, деформації земної поверхні в карстових районах) [5, 6]. Розрахункові значення навантажень враховують коефіцієнти надійності, наприклад, для власної ваги трубопроводу

$$q_T = n \gamma_{ст} \delta \pi D_{ср},$$

де $n = 1,1$; $\gamma_{ст}$ – питома вага сталі; δ – товщина стінки; $D_{ср}$ – середній діаметр.

Поєднання навантажень поділяється на основні (постійні, тривалі та короткочасні) та особливі, з урахуванням коефіцієнтів $\psi_1 = 0,95$ для тривалих і $\psi_2 = 0,9$ для короткочасних.

Поздовжні та поперечні переміщення газопроводів виникають під впливом температурних перепадів, внутрішнього тиску та сил Архімеда в обводнених зонах. Осідання відбувається під дією власної ваги та геодинамічних процесів, випукування – від стискаючих поздовжніх сил на ділянках з меншою жорсткістю, спливання – у водонасичених ґрунтах. Опір масиву ґрунту переміщенням описується квадратичними функціями, залежними від характеристик ґрунту (пористість, вологість, зчеплення), тертя на поверхні «трубопровід-ґрунт» та умов експлуатації. Експериментальні дані підтверджують нелінійний характер опору, з переважанням деформацій зсуву при поздовжніх переміщеннях та об'ємних деформацій при поперечних [7].

Моделювання системи «газопровід – масив ґрунту» здійснюється за допомогою методу кінцевих елементів (МКЕ), що дозволяє аналізувати тривимірний нелінійний напружено-деформований стан (НДС) [8]. Трубопровід моделюється як стрижень, нитка, оболонка чи суцільне середовище; ґрунт – нелінійними зв'язками кінцевої жорсткості або об'ємними елементами. Програмне забезпечення CAESAR II використовується для створення тривимірних моделей МКЕ, з урахуванням параметрів труб (діаметр, товщина стінки) та ґрунту (щільність, модуль зсуву). Результати внутрішньотрубною інспекції (дефектоскопія діаметром 1020 мм) показують рівномірний рух дефектоскопа зі

швидкістю 13,9 км/год, з фіксацією аномалій (корозія, зміна товщини стінки). Моделі підтверджують максимальне зміщення компенсатора до 35 мм, узгоджене з реальними даними (33 мм).

Удосконалення стабілізації передбачає комплексний підхід: використання геотекстилю для армування ґрунту, композитних анкерів з вуглеволокна для фіксації до стабільних шарів (інтервал 10 – 20 м), гнучких бетонних матраців товщиною 0,3-0,5 м для баластування. Моделювання в ANSYS враховує вектори сил і деформацій, демонструючи зниження вібрацій до 5 % від проектного положення при швидкостях течії 2 – 3 м/с. Волоконно-оптичні датчики забезпечують моніторинг деформацій з точністю 0,1 мм, поєднаний з гідроакустичним скануванням для прогнозування зсувів до 0,1 м. Ці методи підвищують стійкість до вертикальних переміщень на 40-50% порівняно з традиційними.

Запропоновані рішення дозволяють знизити аварійність, оптимізувати експлуатацію та продовжити ресурс газопроводів до 50 років з надійністю 99%. Перспективи включають інтеграцію штучного інтелекту для реального часу прогнозування деформацій.

Список використаних джерел:

1. Коровяка, Є.А., Хоменко, В.Л. & Пащенко, О.А. (2024). Стратегії розпорядження правами інтелектуальної власності та процес комерціалізації трансферу технологій. *Створення, охорона, захист і комерціалізація об'єктів права інтелектуальної власності*, С. 293–297.
2. Hankevich, V.F., Pashchenko, O.A. & Kiba, V.Y. (2015). Impact of vibrations on the drilling tool. *Vibrations in engineering and technology*, (4), С. 132–135.
3. Shapoval, V.G., Pashchenko, O.A., Zhilinska, S.R., Khomenko, V.L. & Ivanova, H.P. (2021). Application of Shashenko criterion to predicting the strength of sandy loam soils during horizontal directional drilling. *Інструментальне матеріалознавство*, (24), С. 114–120.
4. Khomenko, V.L., Ratov, B.T., Pashchenko, O.A., Davydenko, O.M. & Borash, B.R. (2023). Justification of drilling parameters of a typical well in the conditions of the Samskoye field. *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*, 1254, С. 012052.
5. Pashchenko, O.A. & Khomenko, V.L. (2022). Determination of drilling technological modes. *Proceedings of the International Conference on Integrated Innovative Development of Zarafshan Region: Achievements, Challenges and Prospects (27–28 October, 2022, Navoi, Uzbekistan)*, 1, С. 191–194.
6. Koroviaka, Y., Pashchenko, O. & Khomenko, V. (2021). Modern paradigm of learning with distance technologies. *III International Scientific and Practical Conference (Lisbon)*, С. 196–199.
7. Kozhevnykov, A., Khomenko, V., Liu, B.C., Kamyshatskyi, O. & Pashchenko, O. (2020). The history of gas hydrates studies: From laboratory curiosity to a new fuel alternative. *Key Engineering Materials*, 844, С. 49–64.
8. Nazarov, O., Gankevych, V., Pashchenko, O. & Kiba, V. (2020). Шляхи зменшення енергоємності і підвищення продуктивності при бурінні свердловин. *Metallurgical and Ore Mining Industry*, (2), С. 10–19.