

ОСОБЛИВОСТІ РОБОЧИХ ПРОЦЕСІВ ЗЕМЛЕРИЙНИХ МАШИН В УМОВАХ БЛИЗЬКО РОЗТАШОВАНОГО ДІЮЧОГО ТРУБОПРОВОДУ

Анотація. В роботі наведено особливості робочих процесів землерійних машин в умовах близько розташованого діючого трубопроводу. Результат такого дослідження дозволить оцінити навантаження на діючий магістральний трубопровід, зокрема від дії землерійних машин, що можуть спричинити зміну його напружено-деформованого стану.

Аннотация. В работе приведены особенности рабочих процессов землеройных машин в условиях близко расположенного действующего трубопровода. Результат такого исследования позволит оценить нагрузки на действующий магистральный трубопровод, в частности под действием землеройных машин, которые могут вызвать изменение его напряженно-деформированного состояния.

Annotation. The paper presents the features of Workflow earthmoving machines in a nearby existing pipeline. The result of this study will evaluate the load on the existing trunk pipeline, in particular under the influence of machines, which can cause a change in its stress-strain state.

Вступ. Робочі процеси землерійних машини (ЗМ) та обладнання для виконання земляних робіт під час виконання капітального ремонту магістральних нафто- та газопроводів суттєво відрізняються від виконання робіт з розробки ґрунтів у звичайних умовах будівництва.

Аналіз досліджень. Основною відмінністю роботи таких ЗМ є наявність близько розташованого магістрального трубопроводу (МТ), який перебуває під тиском рідких або газоподібних речовин та пролежав у ґрунті 30...40 і більше років, причому відмічаються наступні особливості:

1) у зв'язку з фізико-хімічними перетвореннями в структурі сталі такої труби внаслідок старіння границя міцності руйнування «старого» трубопроводу $[\sigma_{с.тр}]$ в залежності від марки сталі та терміну експлуатації зменшується від 10 до 35% по відношенню до границі міцності матеріалу $[\sigma_{н.тр}]$ нового трубопроводу, що виражається формулою [1]:

$$[\sigma_{с.тр}] = \frac{[\sigma_{н.тр}]}{k} \cdot c_1 \cdot k_1; \quad (1)$$

де k – коефіцієнт який враховує надійність роботи МТ по матеріалу (для трубопроводів зі сталей 17Г1СУ, 19Г1СУ, що експлуатуються більше 30 років $k=1,35$);

k_1 – коефіцієнт урахування еліпсності МТ;

c_1 – коефіцієнт урахування корозійного зношування МТ.

2) урахування корозійного зношування МТ, який розкривають від ґрунту, 30...40 і більше років пролежав в агресивному середовищі – вологому ґрунті, що спричиняє руйнування ізоляційного покриття та корозію стінки труби (рис. 1), товщина якої в окремих місцях зменшується на 40...50% і більше [2].



Рис. 1. Стан зовнішньої стінки трубопроводу, який пролежав в ґрунті 30...40 років

Проблема. Відсутність методів розрахунку додаткових навантажень на близько розташований трубопровід від дії ЗМ під час виконання земляних робіт з капітального ремонту магістральних трубопроводів за новою технологією «без підйому труби та зупинки перекачування продукту».

Мета дослідження розглянути особливості робочих процесів землерийних машин в умовах близько розташованого трубопроводу.

Задачі дослідження: встановити навантаження на діючий магістральний трубопровід, що можуть спричинити зміну його напружено-деформованого стану (НДС).

Основна частина. Урахування зменшення допустимих напружень руйнування МТ у зв'язку з корозійним зношуванням виконують у відповідності до ВБН В.2.3-00018201.04-2000 «Розрахунки на міцність діючих магістральних трубопроводів з дефектами», наприклад за даним ВАТ «Інститут транспорту нафти» технічної діагностики ділянки трубопроводу «Кременчук-Херсон» (25 км, введеного в дію 1983 р.) допустимі напруження $[\sigma_b]$ з 510 МПа зменшилась до 202,7 МПа [2, додаток 9], причому за тієї умови, що розрахунок виконувався з внутрішнім тиском перекачування $p = 4,1$ МПа. При транспортуванні сировини з проектними тисками до 8 МПа, допустимі напруження, які можуть призвести до руйнування МТ можуть складати близько 100 МПа.

Урахування еліпсності МТ пов'язане зі зміною геометричної форми МТ внаслідок зміни міцнісних та в'язкісних характеристик матеріалу. За даними [3], в залежності від терміну експлуатації трубопроводів після 15 років суттєво зменшується в'язкість основного матеріалу труби та її зварювальних швів (рис. 2).

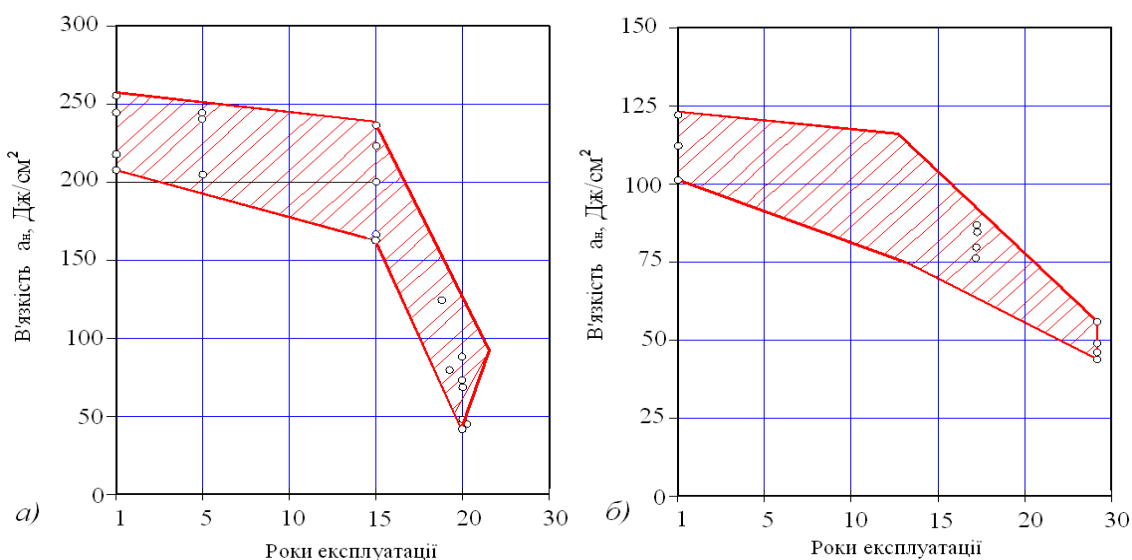


Рис. 2. Зміна механічної в'язкості металу газопроводу від років експлуатації:
а – основного металу; б – зварного шва

У результаті розглянутих факторів, що впливають на зміну допустимих напружень руйнування МТ, за формулою (1) можна зробити висновок про те, що діючі магістральні трубопроводи, які експлуатуються більше 20...30 років мають

в рази нижчі міцнісні характеристики. Це призводить до зростання кількості відмов (рис. 3) [3] та втрати робоздатності нафто-газотранспортної системи (НГТС) і серйозних техногенних наслідків.

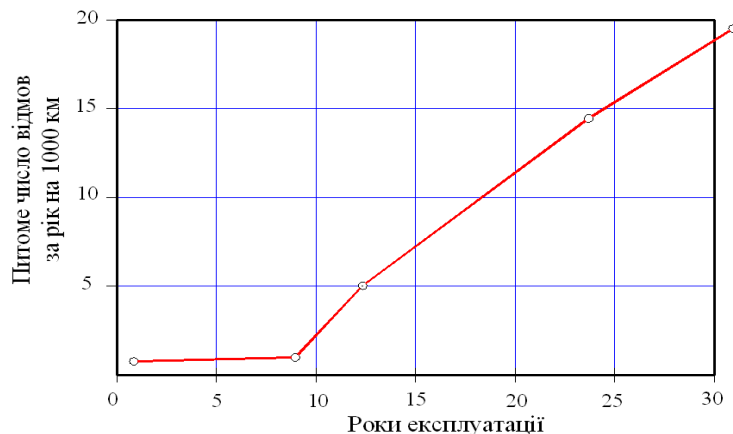


Рис. 3. Розподіл відмов магістральних газо- і нафтопроводів від років експлуатації

Крім вікових змін стану МТ, важливими факторами, що впливають на зміну НДС трубопроводу є вплив зовнішніх навантажень.

За даними експериментальних досліджень [4], встановлено вплив власної ваги ґрунту на зміну напруженого стану МТ підземного прокладання (рис. 4).

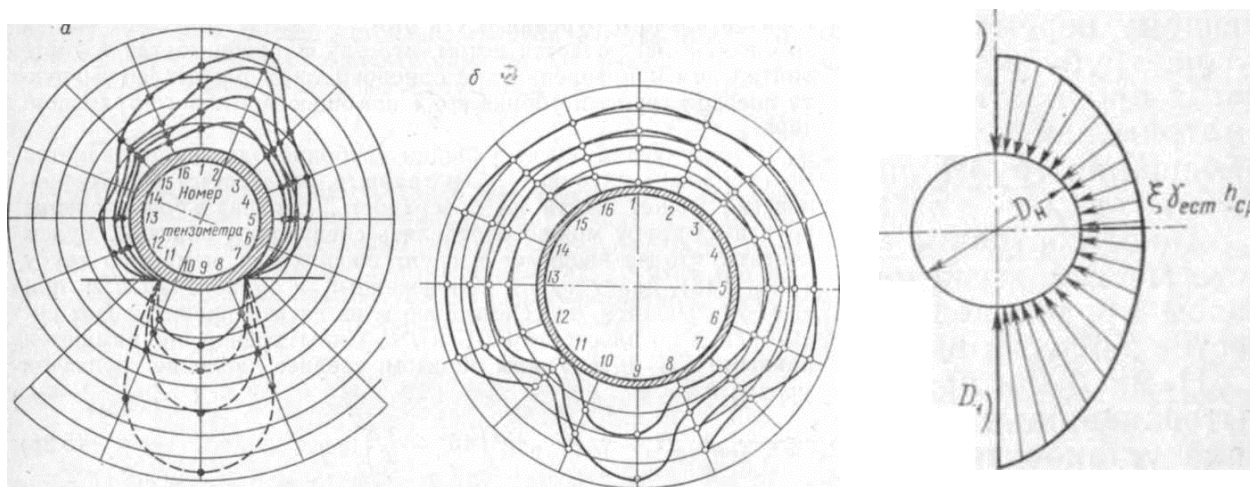


Рис. 4. Розподілення тиску ґрунту по поверхні трубопроводу: а – експериментальне для жорсткої труби, б – експериментальне для гнучкої труби, в – розрахункова епюра

Наведені експерименти показують, що тиск ґрунту по периметру труби, укладеної в ґрунті розподіляється нерівномірно. Крім того, розподіл радіальних тисків у значній мірі залежить від гнучкості перерізу труби, здатності її стінок змінювати форму під навантаженням. У випадку жорсткої стінки труби у верхній і нижній її частинах виникає вертикальний тиск значно більший від бічного

рис. 4, а. Труба з гнучкою стінкою, деформуючись, намагається прийняти таку форму, при якій тиск по периметру наближався б до рівномірного рис. 4, б. Рішення, що враховують нерівномірність розподілу тиску по периметру труби від ваги ґрунту над ним для модель лінійно-деформованого середовища, отримав Г. К. Клейн. Побудована за цими формулами епюра тисків показана на рис. 4, в. У такому випадку формула для визначення радіальних напружень має вигляд [4]:

$$\sigma = \gamma_{\text{грунт}} \cdot z(\cos^2 \alpha + \xi_o \sin^2 a); \quad (2)$$

де z – глибина від денної поверхні ґрунту до точки, що розглядається на поверхні труби, a – кут, що проходить через центр труби, в напрямленні на точку, яка розглядається (відлік за годинниковою стрілкою від вертикалі); ξ_o – коефіцієнт бічного тиску (якщо ґрунт є середовищем граничного напруженого стану, то ξ_o замінюється на $\text{tg}^2(45^\circ - \varphi/2)$).

Крім навантажень на трубопровід від власної ваги, ґрунту досить суттєвий вплив на зміну НДС трубопроводу чинитимуть поруч працюючі машини.

До цього часу проблема оцінки впливу роботи землерийних машин на МТ не стояла, оскільки вони виконували свої технологічні операції на брівці траншеї. З появою нової перспективної технології КР МТ без підйому труби та зупинки перекачування продукту [5] та засобів для її реалізації постала проблема, крім враховування вікового стану та навантаження на МТ, оцінити вплив робочих процесів землерийних машин на зміну напруженого стану трубопроводу.

З низки робіт [6, 7, 8, 9 та ін.] відомо, що під дією робочого обладнання землерийних машин в ґрунтовому середовищі виникатимуть ядра ущільнення, які розповсюджуються на значну глибину та ширину в залежності від величини прикладання навантаження, плями контакту, характеристик середовища.

Безумовно їх дія в умовах близько розташованого трубопроводу спричинятиме додаткову зміну напружено-деформованого стану МТ.

Розглянемо за яких умов можуть виникати додаткові напруження на МТ у результаті виконання технологічних процесів машин для капітального ремонту МТ:

а) під час виконання землерийними машинами робіт з розкривання діючого трубопроводу (у відповідності до запропонованої технології ремонту «без зупинки перекачування продукту» [10]) – по ньому транспортується нафта чи газ

під тиском, що спричиняє виникнення певного напруженого стану в металоконструкції труби;

б) у відповідності до особливостей нової технології [10] землерийні роботи виконуються без підйому труби на ґрунтове ложе та наявністю відкритих ділянок, де трубопровід провисає під дією власної ваги, що також спричиняє виникнення в ньому додаткового НДС;

в) крім власної ваги трубопроводу, на зміну його НДС впливає об'ємна вага продукту, що транспортується (особливо нафти), а також підкопувальної, очищувальної та ізоляційної машин, які рухаються безпосередньо по трубопроводу [10];

г) тягач та робочі органи землерийних машин працюють у безпосередній близькості до магістрального трубопроводу (рис. 5) та впливають на зміну його НДС.

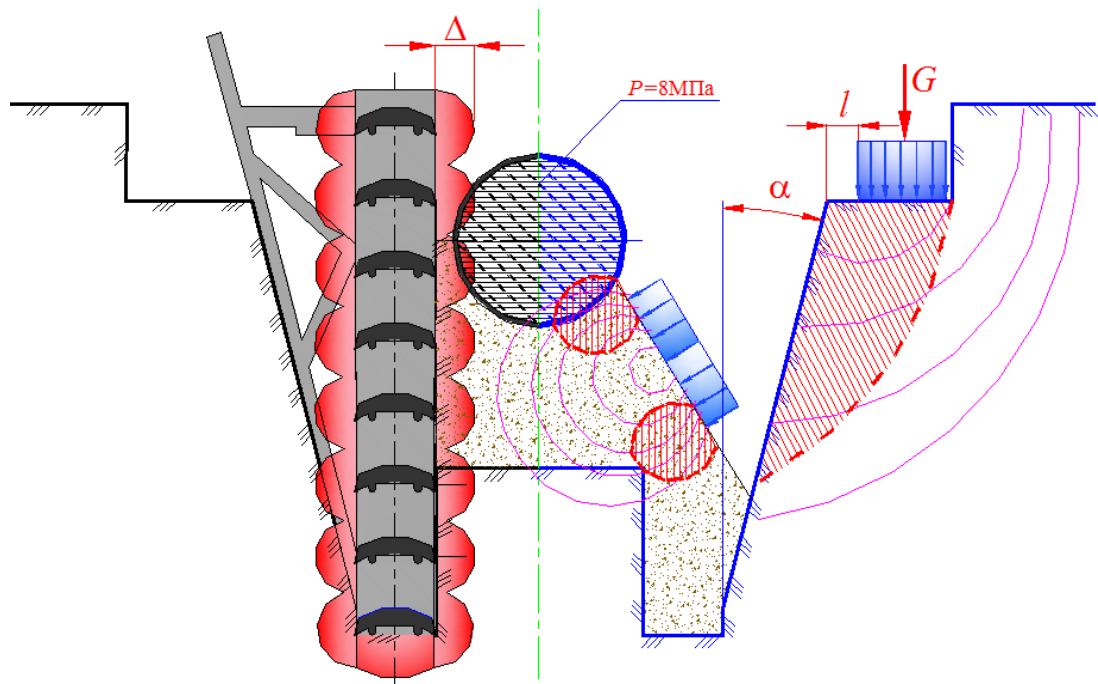


Рис. 5. Специфіка взаємодії робочого обладнання машин для капітального ремонту трубопроводів з середовищем

Таким чином, не складно дійти висновку, що при проектуванні землерийної техніки для виконання капітального ремонту МТ за новою перспективною технологією «без підйому труби та зупинки перекачування нафти» ключовою проблемою є можливість оцінки та урахування впливу процесів взаємодії тягача та робочого обладнання ЗМ з середовищем на зміну НДС магістрального трубопроводу.

У зв'язку з цим оцінка ефективності нової техніки для КР трубопроводів, поряд з високою продуктивністю та низькою енергоємністю робочих процесів має бути оцінена, насамперед, здатністю безпечно виконувати необхідні технологічні операції поблизу небезпечних об'єктів під тиском та ні в якому разі не спричинити зміну НДС тіла труби, більшу за межу руйнування (1) і не допустити серйозних, наслідків пов'язаних з цим. Саме така умова дозволить реалізувати нову та перспективну швидкісну технологію капітального ремонту МТ.

Крім того, варто звернути увагу на те, що створення ефективного комплексу ЗМ для КР магістральних трубопроводів обмежується не лише встановленням особливостей процесів копання ґрунту.

Особливості забезпечення стійкості ґрунтового масиву під час роботи землерийних машин в технологічному ланцюзі машин з капітального ремонту МТ пов'язані з:

1. Необхідністю ущільнення ґрунту під магістральним трубопроводом після нанесення нового ізоляційного покриття та забезпечення стійкості ґрунтового фундаменту;

2. Необхідністю забезпечення стійкості укосів траншеї (визначення кута закладання відкосів) в залежності від фізико-механічних властивостей ґрунту, додаткових навантажень від машин, які рухаються по бермі траншеї та впливу на стійкість укосів брустверів розробленого ґрунту.

3. Несучою здатністю ґрунтів під ходовим обладнанням тягачів ЗМ з навісним робочим обладнанням (обмеження по їх масі та тиску на ґрунт).

Не врахування таких особливостей може призводити до обвалів траншей та:

- заштибовки робочих органів, збільшення навантажень на привод і зменшення виносної здатності машин;
- впливу обвалів на зміну НДС труби та можливість досягнення критичних значень, що можуть призвести до її руйнування;
- провалювання машин в слабких ґрунтах, втрати їх керованості, пікових навантажень на окремі елементи ходового обладнання і їх руйнування, вплив на НДС магістрального трубопроводу.

Висновки

Виконаний аналіз особливостей робочих процесів землерийних машин в умовах близько розташованого трубопроводу дозволяє зробити висновок про те, що вони суттєво відрізняються від робочих процесів ЗМ в будівництві.

Тому для створення комплексу високоефективних землерийних машин та реалізації технології швидкісного та безпечного капітального ремонту діючих магістральних трубопроводів, без підйому труби та зупинки перекачування продукту, необхідно вирішити низку теоретичних та практичних завдань пов'язаних з оцінкою впливу робочих процесів ЗМ на НДС трубопроводу та запропонувати раціональні параметри та режими роботи обладнання, які б мінімально впливали на зміну напруженого стану МТ.

Література

1. ВБН В.3.1-320.20077720.05-2003/ НАК "Нафтогаз України" Магістральні трубопроводи. Капітальний ремонт. Розрахунок міцності та стійкості лінійних ділянок магістральних нафтопроводів діаметром від 377мм до 1220 мм.
2. ВБН В.2.3-00018201.04-2000/Держнафтогазпром України. Розрахунки на міцність діючих магістральних трубопроводів з дефектами.
3. Ремонт магистральных и промышленных газопроводов: справочное пособие / [Груднистый В.Н., Зорин Е.Е. Етурцов С.А. и др.]; под ред. Степаненко А.И. – К:Интерграфик, 1996. – 192 с.
4. Бородавкин П.П. Механика грунтов в трубопроводном строительстве: учебник для вузов. – 2-е изд., перераб. и доп. – М.: Недра, 1986 – 224 с.
5. Технологія капітального ремонту магістральних нафтопроводів діаметром 530-1220 мм із заміною ізоляції без підняття трубопроводу з використанням комплексу машин підвищеної продуктивності. ВБН В.3.1-320.20077720.01-2001. – К.: НАК "Нафтогаз України", 2001. – 189 с.
6. Зеленин А. Н. Физические основы теории резания грунтов. М.-Л., изд. АН СССР, 1950. – 354 с.
7. Ветров Ю. А. Резание грунтов землеройными машинами. М., «Машиностроение», 1971. – 360 с.
8. Федоров Д.И. Рабочие органы землеройных машин.-М.: Машиностроение, 1977. – 288 с.
9. Завьялов А. М. Основы теории взаимодействия рабочих органов дорожно-строительных машин со средой : Дис. ... д-ра техн. наук : 05.05.04 Омск, 1999.
10. ТТ 20-005-94 Технология капитального ремонта магистральных нефтепроводов диаметром 530-1220 мм без применения подъемных средств. – Технические требования. – Уфа: ИПТЕР, 1994. – 13 с.