

## ОСОБЛИВОСТІ ТЕХНОЛОГІЇ РЕМОНТНИХ РОБІТ НАДЗЕМНИХ ПЕРЕХОДІВ МАГІСТРАЛЬНИХ ГАЗОПРОВОДІВ ВЕЛИКОГО ДІАМЕТРА

*Розглядаються перспективні технології ремонтних робіт надземних переходів магістральних газопроводів та особливості визначення напружено-деформованого стану трубопроводу при його контактній взаємодії з роликами робочого органа підйомника.*

**Постановка проблеми та аналіз відомих досліджень і публікацій.** Надземні переходи магістрального газопроводу - це частини газопроводу які розташовані в повітрі над ріками та заболоченою місцевістю. Переходи є проблемним місцем газопроводів, оскільки вони піддаються корозійному впливу атмосфери, особливо в важкодоступних для обслуговування місцях їх опор.

Класичний перехід (рис.1) складається із трубопроводу на опорах, що розташовані як на берегах ріки, так і в самій ріці та в місцях її розливів. Наприклад, перехід через р. Стрий має довжину біля 1 км і складається із 36 опор. Як показує досвід експлуатації трубопроводів, в місцях їх контакту з опорними конструкціями мають місце корозійні процеси металеві поверхні труб (рис.2), які спричиняють їх поступове руйнування [2].

Конструктивно рухома опора (рис.3) складається із залізобетонного ростверка 1, на якому закріплено металеву опорну плиту 8, по якій можуть переміщатися опорні катки 7. Зверху, на катках, встановлено сідловину 6, до якої з допомогою хомутів 3 та 4 через ізолюючі прокладки 5 прикріплено трубопровід 2. Рухома опора служить для утримання

трубопроводу та можливості компенсації його температурних деформацій.



*Рис.1 Надземний перехід магістрального газопроводу через р. Стрий.*



*Рис.2 Корозія елементів рухомої опори та труби.*

Корозійні процеси відбуваються саме під сідловиною опори 6 та ізольованими прокладками хомутів 3 і 4. Для того щоб їх виявити, а тим більше усунути, необхідно підняти трубопровід 2 над опорною плитою 8 на деяку висоту (80 -100 мм), зафіксувати його, розкрити хомути 3 та 4 і витягнути сідловину 6 з хомутиами 3.

Однак, як показує практика експлуатації, на важкодоступних ділянках переходів МГ через відсутність мобільних підймальних пристроїв такі роботи переважно не проводилися.

Для вирішення цієї проблеми було розроблено установку [5] для розвантаження опорного вузла і підймання ділянки трубопроводу з сідловиною опори 6 відносно опорних котків 7. Конструкція установки є розбірною, а вага окремих її елементів не перевищує 16 кг. Установка (рис.4) складається із двох пневмоподушок 5 які встановлюються на опорних балках 3. Балки, в свою чергу, встановлюються на регульованих консолях 2, що згвинчуються шпильками на бетонній опорі 1. Між пневмоподушками і трубопроводом встановлюються жорсткі призми. Стиснуте повітря подається в пневмоподушки із балона. Висота підйому контролюється індикатором контролю переміщення 7.

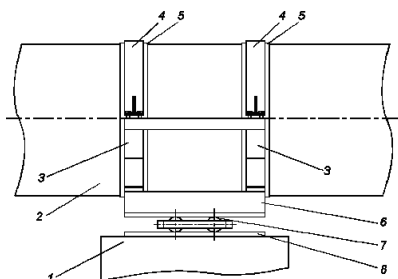


Рис.3 Конструктивна схема рухомої опори



Рис.4 Підіймальна установка

Дана конструкція підіймального пристрою в даний час успішно використовується в Управлінні магістральних газопроводів «Львівтрансгаз» для ремонтних робіт елементів опор магістральних трубопроводів діаметром від 530 мм до 1020 мм, що розташовані на залізобетонних ростверках (рис.1). Для проведення аналогічних робіт з трубопроводами діаметром 1220 та 1420 мм необхідно створити нову конструкцію більшої вантажності. При аналізі конструктивної схеми (рис.4) пристрою виявилось, що збільшення його вантажності призводить до значного зростання масово-габаритних параметрів окремих конструктивних елементів, що суттєво зменшує його мобільність, та можливість швидкого і безпечного збирання (розбирання) підіймального пристрою монтажниками на висоті 6 - 8 м в обмеженому просторі залізобетонного ростверка опори. Крім того, сідловину 6 з хомутами 3 (рис.3) можна витягнути тільки на себе, оскільки пневмоподушки розташовані з обох сторін ростверка, а у випадку трубопроводів великого діаметра маса сідловини сягає 500-600 кг, що неможливо зробити без підіймальної техніки.

**Формулювання мети досліджень.** Метою досліджень є розроблення конструктивної схеми мобільного підіймального пристрою для піднімання трубопроводів великого діаметра вантажністю 100 т.с. та масою окремих частин не більше 24 кг і яка б прилаштовувалася тільки з однієї сторони ростверка.

**Основний матеріал.** Для вирішення цієї проблеми слід перейти на гідропривід. Це, по-перше, дозволить значно зменшити масово-габаритні параметри окремих конструктивних елементів підйомника, вантажність якого буде достатньою для ремонту опор трубопроводів великого діаметра (60 - 70 т.с), по-друге, звільнить одну із сторін трубопроводу для переміщення сідловини безпосередньо по трубі, закріпивши попередньо роликіві опори під верхні хомути 4 (рис.3).

На рис.5 представлено функціональну схему підйимального пристрою [4] для піднімання трубопроводів великого діаметра ( $\varnothing 1420$  мм) над опорною плитою. Пристрій складається із двох гідроциліндрів 7, до штоків яких через шарніри кріпиться втулковий ланцюг 8, який взаємодіє з трубопроводом через металеву прокладку 9. Для кращої стійкості гідроциліндри нахилено на невеликий кут ( $3 - 5^\circ$ ). При подачі робочої рідини в порожнини циліндрів, їхні штоки будуть переміщатися в верх, а отже – підніматимуть трубопровід над опорою.

Особливістю піднімання трубопроводів великого діаметра над опорною плитою є значні зусилля, що виникають при цьому. Причин декілька. Перша – значна маса двох прольотів трубопроводу – 25 -30 т.с. Друга причина - висока жорсткість трубопроводів великого діаметра. Сили жорсткості проявляються як при підніманні (згині) трубопроводу, так і при його відхиленні від горизонту в процесі будівництва. Трапляються випадки, коли різниця вертикальних відміток сусідніх опор становить 250 – 300 мм, що суттєво розвантажує занижену опору, та стільки ж навантажує завищену. Враховуючи це – необхідна проектна вантажність підйимального пристрою – 100 т.с.

Такі навантаження є небезпечними для трубопроводу – довгомірної оболонки, товщиною 16 мм, яка до того ж знаходиться під тиском газу, дією гравітації та температурних напружень. Тому при проектуванні такого пристрою слід враховувати напружено-деформований стан оболонки, а для початку – визначити навантаження, які діють на неї зі сторони ланцюга з роликами, які контактують з трубопроводом через тонку (5 – 6 мм) металеву прокладку.

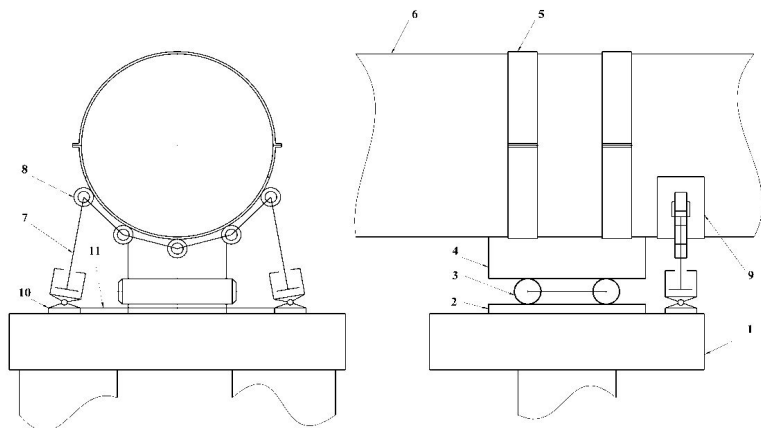


Рис.5. Функціональна схема підіймального пристрою:

Вирішення цієї задачі методами аналітичної механіки є досить громіздким і трудомістким та вимагає [3,6] високої кваліфікації персоналу. Водночас аналітичні розв'язки базуються на багатьох наближеннях і у спрощеному варіанті можуть бути дуже корисними для оцінки адекватності чисельних методів, наприклад для вибору розміру сітки при використанні методу скінчених елементів.

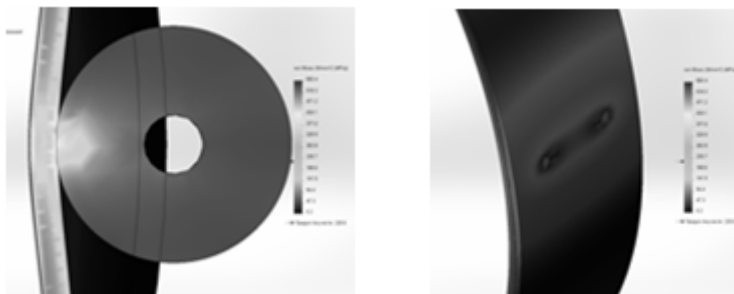
Зупинимось на використанні методу скінчених елементів детальніше, вірніше на його реалізації в програмному середовищі SolidWorks Simulation 2012 [1].

Розрахункова модель взаємодії трубопроводу – довгомірної тонкостінної оболонки з жорстким циліндричним роликом через тонку металеву прокладку представлена на рис.6. Для зменшення розмірності задачі трубопровід складається із трьох частин, внутрішня – менша, буде розбиватися на сітку дрібних елементів (5 мм), а дві зовнішніх будуть розбиватися на сітку великих елементів (50 мм). Сітка прокладки та ролика теж дрібна. Інша особливість – трубопровід не слід розраховувати як класичну безмоментну оболонку, оскільки при локальному згині стінки труби на її зовнішній поверхні виникатимуть напруження стиску, а на внутрішній – розтягу [6]. Тому трубопровід слід

розраховувати по загальній теорії оболонок, а в інтерпретації SolidWorks Simulation це тверде тіло [1], що суттєво збільшує розмірність задачі і ставить серйозні вимоги як до ресурсів ЕОМ, так і впливає на надійність процесу обчислень. Ще однією особливістю є те, що ця задача нелінійна. Адже контактні напруження залежать від сили взаємодії та площі площадки контакту, яка теж залежить від сили взаємодії. Розв'язування нелінійних задач в середовищі SolidWorks Simulation є тривалим процесом, який вимагає високих ресурсів ЕОМ, кваліфікації та що особливо, порівняння спрощених задач з аналітичними розв'язками. Однак у даному випадку інженери мають серйозний інструмент для визначення напружено-деформованого стану складних конструкцій.



*Рис.6 Розрахункова модель в середовищі SolidWorks Simulation*



*а) еквівалентні напруження на зовнішній поверхні оболонки*

*б) те ж, ролик та деформацію умовно знято*

*Рис.7. Еквівалентні напруження в оболонці під час її контактної взаємодії з циліндричним роликом*

Розглянемо контактну взаємодію жорсткого циліндричного ролика з трубопроводом та ролика з нерівномірною жорсткістю поверхні контакту (рис. 9,а).

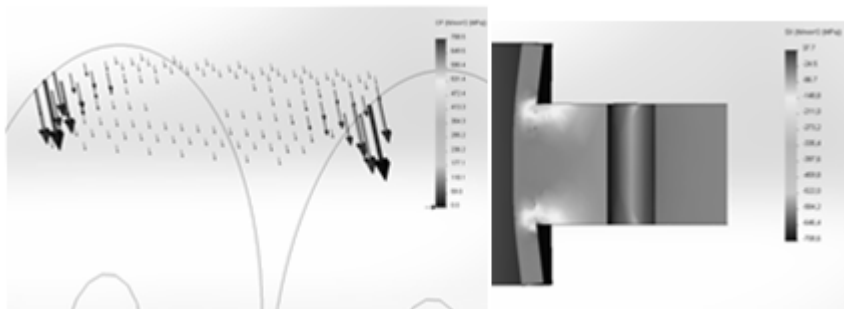
На рис. 7 представлено хромограми - результати розрахунку напружено-деформованого стану довгомірної оболонки  $\varnothing 1220 \times 12$  мм з циліндричним роликом  $\varnothing 80 \times 50$  мм із зусиллям взаємодії 40 кН. На жаль представлення хромограми в сірих тонах значно погіршує якість представлення результату, однак на рис. 7,а видно процес переміщення ролика в середину трубопроводу та характерне огинання податливим трубопроводом жорсткого ролика. На рис. 7,б представлено цю ж хромограму еквівалентних напружень, на якій умовно знято ролик та «вимкнено» деформацію. На рисунку чітко проглядається нейтральний шар в середині стінки фрагменту труби та яскраво виражені дві плями концентрації напружень на зовнішній поверхні труби в місцях її контакту з кінцями ролика.

На рис. 8,а зображено розподіл контактної тиску по довжині контактної площадки, а на рис. 8,б – напружень. Як видно із рисунка 8,б податлива оболонка огинає жорсткий ролик вздовж його осі і це призводить до нерівномірного розподілу контактної тиску та напружень на площадці контакту, а отже і до високих значень самих напружень, що є небезпечно для міцності оболонки, а особливо коли це магістральний трубопровід високого тиску.

Розглянемо аналогічну контактну взаємодію циліндричної оболонки з роликом змінної жорсткості (рис. 9).

Як видно із порівняльного аналізу рис. 8 та рис. 9 нерівномірність розподілу еквівалентних напружень на зовнішній поверхні оболонки зменшується.

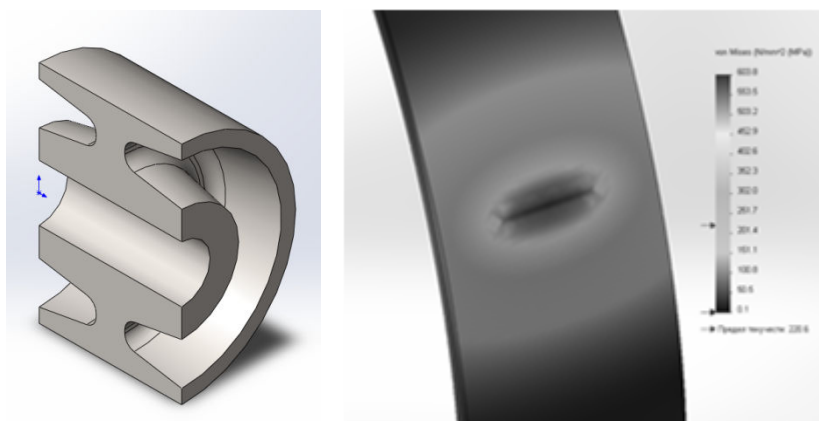
На рис. 10 представлено контактний тиск та напруження при використанні ролика змінної жорсткості. Як видно із аналізу рис. 10, контактні тиск та напруження при взаємодії з роликом змінної жорсткості є краще розподілені по площадці контакту, а їх максимальні значення є втричі меншими, чим у випадку жорсткого ролика.



а) розподіл контактної тиску по контактній площадці ролика

б) розподіл напружень вздовж осі контактної площадки ролика

Рис.8. Контактні тиск та напруження в оболонці під час її контактної взаємодії з циліндричним роликом

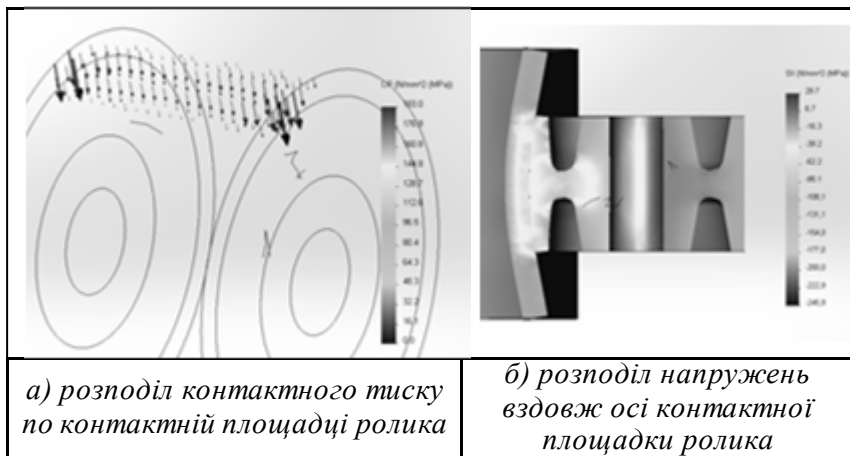


а) ролик змінної жорсткості

б) еквівалентні напруження на зовнішній поверхні оболонки

Рис.9. Конструкція ролика та еквівалентні напруження в оболонці під час її контактної взаємодії з циліндричним роликом змінної жорсткості.





*Рис. 10. Контактні тиск та напруження в оболонці підчас її контактної взаємодії з циліндричним роликом змінної жорсткості.*

**Висновки.** Зменшити величину контактного тиску за рахунок його більш рівномірного розподілу можна також шляхом використання металевої прокладки між роликом та трубопроводом або використанням бочкоподібних роликів. Варто також дослідити поєднання прокладки, роликів змінної жорсткості та бочкоподібності поверхні ролика.

Використання аналітичних методів у складних випадках є громіздким і в багатьох випадках неможливим процесом, який у випадку спрощених задач дозволяє ефективно налагодити метод скінчених елементів та оцінити точність розв'язків більш складних задач.

Використання чисельних методів розв'язку нелінійних задач контактного характеру дозволяє адекватно оцінити напружено-деформований стан складної конструкції та вжити конструктивних заходів по підвищенню міцності.

**Література:**

1. Алямовский А.А. Инженерные расчеты в SolidWorks Simulation. М.: ДМК Пресс, 2011. 664 с.
2. Беккер М.В., Мандра А.С., Николаєв В.О., Ксендзюк С.В. Технологія ремонту повітряних переходів магістральних трубопроводів та методика її застосування // Інформаційний огляд ДК “Укртрансгаз”. – 2004. – №4 (28). – С. 5–6.
3. Бурак Я.Й., Рудавський Ю.К., Сухорольський М.А. Аналітична механіка локально навантажених оболонок. – Львів: «Інтелект-Захід», 2007. – 240с.
4. Патент на корисну модель №73750 (Україна) / Спосіб ремонту ділянок трубопроводів, розташованих на опорах балкових переходів. МПК F16L 55/18 /Є. В. Харченко, Ю. Я. Новіцький. Заявлено 02.03.2012 р. Опубл. 10.10.2012, бюл. №19, 2012 р. - 4 с.
5. Савула С.Ф., Банахевич Ю.В., Зубик Й.Л., Кичма А.О., Новіцький Я.М. Спосіб ремонту ділянок трубопроводів розташованих на колонах балкових переходів. Деклараційний патент України № 21540. Опубл. в Бюл. №3 від 15.03.2007. 2 с.
6. Тимошенко С.П., Войновский -Кригер С. Пластинки и оболочки. .- М.:Наука, 1966. - 635 с.