

Т.Б. Юзьків к.т.н., доцент, І.В. Дворянин к.т.н., А.Р. Дзюбик к.т.н., доцент,
Ю.Д. Димитрова (Львівський державний університет безпеки життєдіяльності)

МОДЕЛЮВАННЯ НАДЗВИЧАЙНИХ СИТУАЦІЙ НА БАГАТОПРОГОННИХ ПЕРЕХОДАХ МАГІСТРАЛЬНИХ ТРУБОПРОВОДІВ МСЕ

В статті розглянуто можливість моделювання надзвичайних ситуацій на багатопробіжних переходах магістральних трубопроводів методом скінченних елементів. Показано, що застосування цього методу дає змогу більш точно описати напружено – деформований стан переходів та ефективно застосовувати його для прогнозування надзвичайних ситуацій. Розглянуто двопробіжний перехід із довжиною кожного прогону 20 м. Встановлено критичну величину поперечного зміщення середньої опори.

Постановка проблеми. Надземні ділянки магістральних трубопроводів, що споруджують при подоланні перешкод природного або техногенного походження становлять до 2 % від загальної протяжності трубопроводу [1]. Однак, саме на них існує найвища ймовірність виникнення надзвичайних ситуацій, що пов'язані із можливою розгерметизацією труби, створенням вибухонебезпечних умов і попаданням продуктів транспортування в навколишнє середовище. Аналіз статистичних та літературних даних показує, що перш за все увагу слід приділяти відкритим надземним ділянкам в гірських умовах. Зокрема це багатопробіжні надземні переходи прокладені на опорах. Трубопровід, що знаходиться в обвальному ґрунтовому масиві, сприймає навантаження від внутрішнього тиску продукту, що транспортується, а також навантаження, обумовлені вигином трубопроводу по профілю траси. Силова дія на нього ґрунтів, є додатковою та має місцевий характер, а навантаження можуть значно змінити локальний напружено-деформований стан, суттєво відмінний від проектного [2]. Це, в свою чергу, є однією з головних причин зародження гофр, тріщин, які ведуть до руйнування матеріалу труби. Тому для прогнозування надійності їх роботи та оцінки ресурсу велике практичне значення мають аналітичні методи дослідження. При цьому важливо знати не лише рівень напружень та деформацій, а й місця їх найбільшої концентрації. Це дає змогу запобігти виникненню надзвичайних ситуацій та можливим людським і матеріальним втратам.

Аналіз останніх досягнень та публікацій. В даний час для розв'язання таких задач у трубопровідному транспорті застосовуються різноманітні експериментальні та розрахункові методи. При цьому перші з них не завжди достатньо інформативні через обмеженість методики або складність її реалізації в польових умовах [3]. Другі, розрахункові, в більшості ґрунтуються на положення теорії пружності та містять в своїх підходах певні спрощення [1, 2]. Вони мало застосовні при дослідженні напружень і деформацій за зміщення опори труби сумісно з локальними змінами у її геометрії.

Постановка задачі та її розв'язання. В роботі проаналізовано напружено-деформований стан двопробіжного надземного переходу нафтопроводу діаметром 529 мм і товщиною стінки 10 мм. Матеріал труби – сталь 17ГС. Довжина кожного прогону 20 м. Опора забезпечує поздовжні переміщення внаслідок температурного впливу. Розглянуто випадки поперечного зміщення опори та його вплив на несучу здатність трубопроводу. При цьому застосовувалися існуючі в трубопровідному транспорті розрахункові методи [1, 2] та метод скінченних елементів (МСЕ) [4,5]. Трубопровід сприймає проектні навантаження від внутрішнього тиску (2 МПа), ваги труби та нафти, що її заповнює (рис. 1)

При визначенні згинальних моментів для балкових систем надземних трубопроводів від дії поперечного навантаження, як розрахункову модель трубопроводу приймають балку трубчастого перерізу. Граничні умови на опорах залежать від способу монтажу переходу. Зважаючи на відносно невелику довжину, в даному випадку розглядається випадок „нерозрізного” монтажу. Він полягає в тому, що довгу трубу, рівну загальній довжині

переходу, використовуючи трубоукладачі, укладають на проміжну опору. Максимальний згинальний момент від поперечного навантаження виникає на проміжній опорі та визначається загальними правилами будівельної механіки. При рівній довжині середніх прольотів максимальні напруження будуть складатися із осьових та згинальних та дорівнювати ≈ 66 МПа.

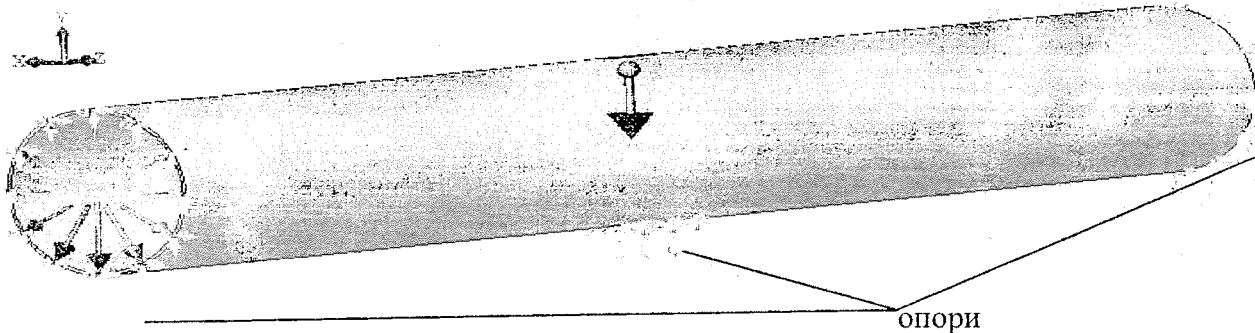


Рис. 1. Розрахункова модель трубопроводу

Аналогічні розрахунки було проведено із застосуванням геометричного моделювання конструкції та розрахунку методом скінчених елементів [5, 6]. Застосовувалися плоскі та тривимірні скінченні елементи. При цьому, для зменшення розмірності задачі, на трубі по середині прогону в якості проміжної опори задавалася площадка 300×400 мм. Так як в роботі розглядаються випадки поперечного зміщення опори відносно осі труби, то умови симетрії, що суттєво зменшують час розрахунку, не застосовувалися [6].

Отримані МСЕ результати показали, що максимальні напруження змінюються від 56 МПа на зовнішній до 62 МПа на внутрішній стінах труби. Отже, маємо добрий збіг даних із інженерної точки зору, а запропонований метод може застосовуватися для розв'язання даного типу задач. Максимальні деформації трубопроводу зафіксовано у вертикальній площині посередині прогонів.

Як уже вказувалося, при прокладанні трубопроводів в гірських умовах або на нестійких ґрунтах можливе переміщення опор. У багатопрогонових системах при переміщенні однієї з опор виникають додаткові згинальні напруження їх можна визначити відповідно до відомих рішень для багатопрогонових балок при заданому переміщенні. Однак при цьому складно оцінити реальний розподіл напружень в трубі при особливих умовах її навантаження та закріплення (просторові зміщення опори, нерівномірність поверхні труби тощо). Такий розв'язок можна отримати при застосуванні МСЕ. Зокрема було змодельовані ситуації поперечного, відносно осі труби, переміщення середньої опори на відстань 0,2, 0,4 та 0,6 м від проектного. За результатами розрахунків побудовано епюри напружень. Зокрема на рис. 2 в полярних координатах наведено отриманий розподіл еквівалентних напружень у поперечному перерізі труби над опорою для її верхньої половини.

Як бачимо, при збільшенні поперечного відхилення опори в горизонтальному напрямку суттєво змінюється напружений стан в стінці труби. Зміна напружень по контуру має нерівномірний характер. Так у верхній точці труби напруження практично не залежать від величини зміщення опори. Однак, із наближенням до горизонтальної осі симетрії, величина напружень зростає та досягає свого найбільшого значення. В напрямку зсуву опори, максимальні напруження в стінці виникають швидше, ніж з протилежного боку.

При величині зміщення на 0,6 м в тілі труби починають виникати пластичні деформації. Тобто для даної моделі це зміщення є критичне з точки зору можливості утворення небезпечних дефектів, що можуть призвести до розгерметизації труби та виникнення надзвичайних ситуацій.

Застосовуване програмне забезпечення, що реалізує МСЕ, дає можливість моделювати

зміну напружено-деформованого стану трубопроводу в часі. Тобто отримати анімаційне відображення процесу в передісторії виникнення надзвичайної ситуації. Останнє є корисним для оцінювання часткових (критичних) випадків навантаження трубопроводу та наступного оперативного втручання. Тобто, створивши повну комп'ютерну модель трубопроводу, можна без виконання повторних і додаткових обчислень прогнозувати виникнення та розвиток надзвичайних ситуацій техногенного та природного характеру (переміщення ґрунтових або снігових мас, розмивання берегів річок та тиск течії на трубу при паводках і т.д.).

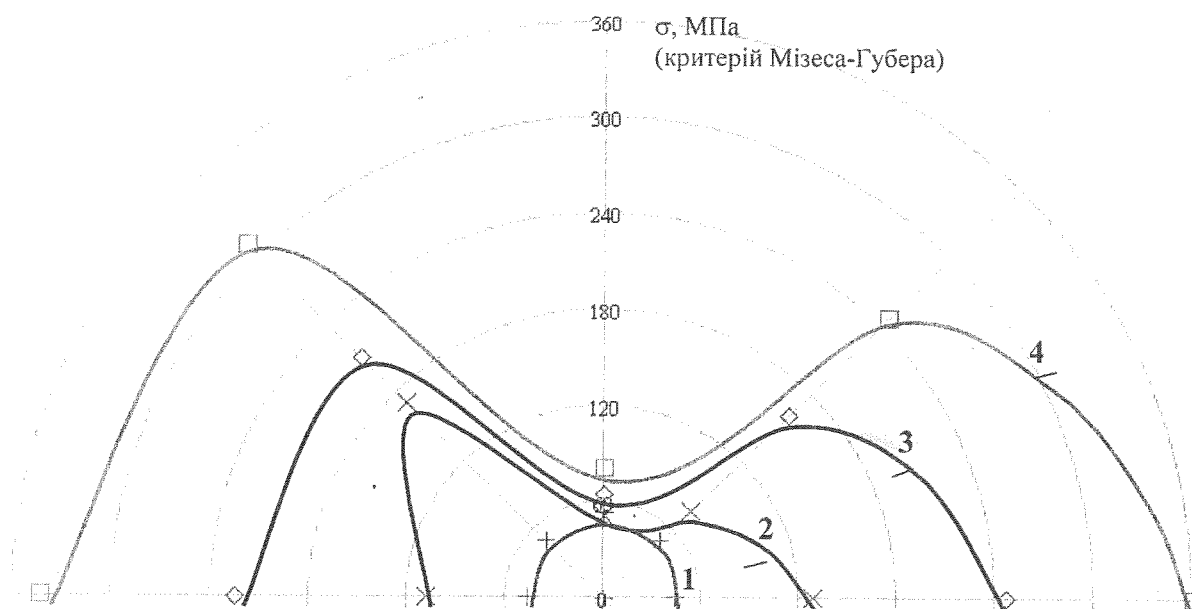


Рис. 2 Розподіл еквівалентних напружень поперек труби на зовнішній стінці:
 1 – у проектному положенні; 2 – при зміщенні середньої опори на 0,2 м;
 3 – при зміщенні середньої опори на 0,4 м; 4 – при зміщенні середньої опори на 0,6 м.

На основі отриманих результатів можна зробити такі висновки. Застосування МСЕ для розрахунку багатопробіжних надземних переходів дає змогу більш точно описати їх напружено-деформований стан та визначити місця концентрації максимальних напружень. Це дає змогу ефективно застосовувати його для прогнозування надзвичайних ситуацій в трубопроводному транспорті шляхом розрахунку та створення анімаційних комп'ютерних моделей. Для розглянутого в роботі надземного двопробіжного переходу встановлено критичну величину поперечного зміщення опори, яка становить 0,6 м.

ЛІТЕРАТУРА

1. Айнбиндер А.Б., Камерштейн А.Г. Расчет магистральных трубопроводов на прочность и устойчивость. Справочное пособие. М Недра, 1982, 341 с.
2. Перун И.В. Магистральные трубопроводы в горных условиях. – М. Недра, 1987. – 175с.
3. Экспериментальные методы исследования деформаций и напряжений: Справочное пособие / Касаткин Б.С., Кудрин А.Б., Лобанов Л.М., Пивторак В.А., Полухин П.И., Чиченев Н.А. – К.: Наукова думка, 1981. – 584 с.
4. Зенкевич О. Метод конечных элементов в технике. – М.: Мир, 1975. – 234 с.
5. Алямовский А.А. Solid Works/COSMOSWorks. Инженерный анализ методом конечных элементов. – М.: ДМК Пресс, 2004. – 432 с.
6. Компьютерное моделирование в инженерной практике / Авторы: Алямовский А.А., Собачкин А.А., Одинцов Е. В., Харитонович А.И., Пономарев Н.Б. – СПб.: БХВ-Петербург, 2005. – 800 с.