

ЛІТЕРАТУРА

1. Бабин Л. А., Быков Л. И., Волохов В. Я. Типовые расчеты по сооружению трубопроводов. – М.: Недра, 1979. – 176 с.
2. Шимкович Д. Г. Расчет конструкций в MSC/Nastran for Windows. – М.: ДМК Пресс, 2003. – 448 с.
3. Алямовский А. А. Solid Works/COSMOSWorks. Инженерный анализ методом конечных элементов. – М.: ДМК Пресс, 2004. – 432 с.
4. Зенкевич О. Метод конечных элементов в технике. – М.: Мир, 1975. – 234 с.

УДК 539.3

Т. Б. Юзьків к.т.н., А. Р. Дзюбик к.т.н., Гуцуляк Ю. В. к.т.н., доцент (Львівський інститут пожежної безпеки)

ЗАПОБІГАННЯ НАДЗВИЧАЙНИМ СИТУАЦІЯМ НА ОДНОПРОГОННИХ ТРУБОПРОВІДНИХ ПЕРЕХОДАХ

У статті розглянута можливість запобігання надзвичайним ситуаціям на однопрогонних трубопровідних переходах через перешкоди на основі аналізу їх напружено-деформованого стану. Показано, що застосування існуючих в трубопровідному транспорті розрахункових методів не завжди дає змогу врахувати особливості геометрії труб, наявність локальних дефектів тощо. Запропоновано застосовувати комп'ютерне моделювання та розрахунок методом скінчених елементів. Виконано розв'язання тестової задачі. Показана можливість створення анімаційних картин зміни напружено-деформованого стану трубопроводу в передісторію виникнення надзвичайної ситуації. Наведено приклад розрахунку величини напружень в матеріалі труби із локальним дефектом типу корозія. Встановлено, що остання може призводити до виникнення надзвичайних ситуацій в процесі експлуатації трубопроводу внаслідок небезпечної концентрації напружень.

Забезпечення високої конструктивної надійності трубопроводів є головним завданням у процесі їх будівництва, монтажу та використання. Збільшення термінів експлуатації магістральних трубопроводів вимагає застосування сучасних ефективних методів діагностування для запобігання надзвичайним ситуаціям. Відомо [1], що трубопроводи експлуатуються в досить складних і різноманітних геологічних та кліматичних умовах. Навантаження та вплив середовища на них змінюються в досить широкому спектрі протягом терміну роботи. Надзвичайні ситуації пов'язані із розгерметизацією трубопроводу завдають значної шкоди навколишньому середовищу та економічних збитків. Особливо це стосується відкритих ділянок трубопроводів, які трапляються при подоланні перешкод природного та техногенного походження. Такі ділянки становлять усього до 2 % від усієї протяжності трубопроводу і саме тут найвища ймовірність його руйнування.

Безпечна експлуатація можлива при допустимому рівні фізичних і технічних параметрів матеріалу труб, які з урахуванням умов експлуатації визначають залишковий ресурс трубопроводу. При цьому одним із вирішальних моментів є наявність інформації про дійсний напружено-деформований стан труб. Перевищення його критичного рівня, а особливо в локальних об'ємах, може призводити до руйнування трубопроводу.

Для визначення діючих в матеріалі труб напружень використовують різноманітні експериментальні та розрахункові методи. Однак, перші з них не завжди достатньо

інформативні через обмеженість методики або складність її реалізації в польових умовах, потребують постійного моніторингу трубопроводів та спеціально підготовлених і оснащених фахівців. Інші, розрахункові, в більшості ґрунтуються на класичних положеннях теорії пружності та містять в своїх підходах певні спрощення [1]. Зокрема з їх допомогою складно враховувати особливості геометрії труби локального характеру, наприклад, стоншення стінки, дефекти (типу корозія), задири, вм'ятини тощо. Складність проблеми значно зростає, якщо ці дефекти розташовані компактно і для визначення напруженого стану матеріалу необхідно оцінити їх взаємовплив. Особливою є проблема врахування комплексного навантаження на трубопровід всіх ймовірних зовнішніх чинників. В зв'язку з цим необхідним є розроблення нових методик оцінки напружено-деформованого стану трубопроводів.

При вирішенні вказаного комплексу проблем, від фахівців пожежної безпеки вимагається спеціальна підготовка. Тобто необхідні додаткові трудові та матеріальні затрати. Для їх зменшення та кваліфікованого прогнозування виникнення надзвичайних ситуацій пропонується використовувати сучасне програмне забезпечення. Зокрема, комп'ютерне моделювання геометрії трубопроводів, із врахуванням усіх їх особливостей, та наступне виконання міцнісних розрахунків дає змогу підвищити продуктивність праці, достовірність результатів, значно скоротити час підготовки бази даних для різноманітних інженерних розрахунків. Формати креслень, які генеруються при моделюванні, в більшості випадків узгоджені між компаніями-розробниками графічних і розрахункових програмних комплексів. Існуючі на ринку відповідні універсальні програмні комплекси дають змогу розв'язувати широкий спектр задач, зокрема теплопровідності, термопружності, силового деформування, знаходження частотних характеристик [2,3]. Основним засобом для їх реалізації є метод скінченних елементів (МСЕ) [4]. Ідея методу полягає в апроксимації суцільного середовища з безмежним числом ступенів свободи деякою множиною простих елементів, що мають граничне число ступенів свободи і взаємозв'язані між собою в вузлових точках. Далі необхідно вирішити деяку систему диференціальних рівнянь для знаходження постійних коефіцієнтів функцій апроксимації. При цьому найчастіше використовується функціонал Лагранжа, який має глибокий фізичний зміст, оскільки збігається з рівнянням потенційної енергії тіла (конструкції).

Сучасне програмне забезпечення, що реалізує метод, побудоване на об'єктно-орієнтовному принципі. Воно дає змогу дослідникові на інтуїтивному рівні працювати із системою. При цьому важливим є розуміння фізичного змісту функціонування конструкції в цілому, вміння правильно створити систему навантаження та існуючих в'язей. Глибоке знання математичного апарату (який складає окрему науку) не вимагається, однак слід знати його обмеження та функціональні можливості.

Реалізація такого методу подається на прикладі моделювання однопрогонного безкомпенсаторного надземного переходу магістрального трубопроводу з прямолінійним профілем без спеціальних опор. Вибір типу переходу пов'язаний із їх широким застосуванням, особливо в геологічно складних гірських умовах, де багато невеликих річок, потоків та ярів.

Розв'язання тестової задачі полягало в порівнянні результатів розрахунків за класичним методом Бабіна Л. А. [1] та МСЕ. Обчислення виконувалися для нафтопровідного переходу довжиною 25000 мм, із труб 720×9 мм, що виготовлені із сталі 09Г2С. Робочий тиск 2 МПа. Густина нафти 895 кг / м³. При реалізації МСЕ враховувалася нерівномірність тиску ваги нафти за діаметром труби на її стінки [5]. Розбиття на сітку скінченних елементів виконувалося тетраедрами з проміжними вузлами через 80 мм при мінімально допустимій величині 4 мм.

Встановлено, що максимальні осьові напруження відповідно до методу Бабіна Л. А. становлять 87 МПа при максимальному прогині 18 мм. Згідно з розрахунком МСЕ, максимальні осьові напруження \approx 95 МПа при максимальному прогині 19 мм. Результати

обчислення максимального прогину МСЕ наведено на рис. 1. Тут величина прогинів (м) характеризується їх насиченням.

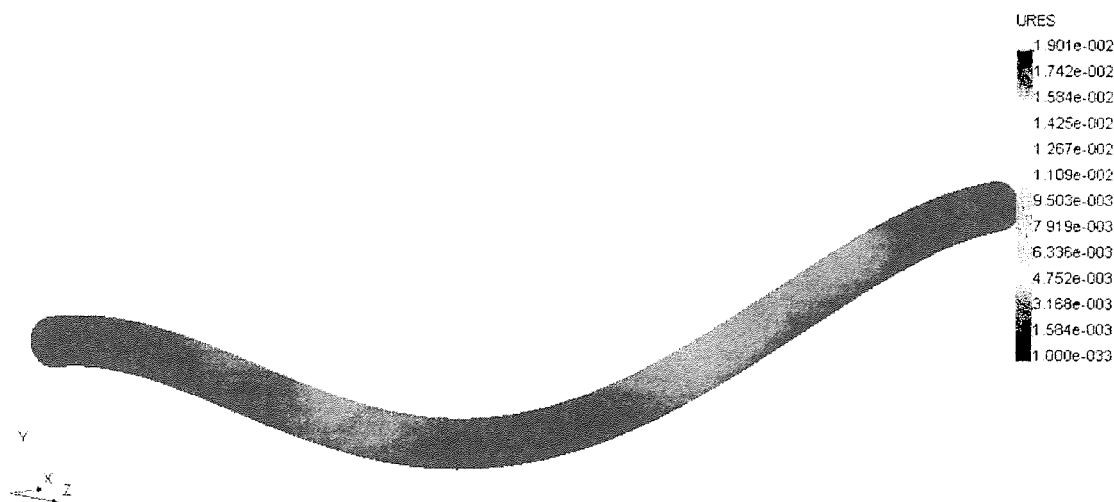


Рис. 1. Деформація переходу трубопроводу із довжиною прогону 25000 мм

Аналіз отриманих результатів показує достатньо добрий збіг даних. При застосуванні методу враховується геометрія конструкції (оболонка), забезпечується прикладення усього комплексу зусиль та досягається добра наочність відображення результатів.

Наявність локальних змін геометрії труби враховується на стадії комп'ютерного моделювання. Далі, при розрахунку, з метою підвищення точності обчислень, необхідно застосувати локальне згущення сітки скінченних елементів.

Результати розрахунку дефекту з такими геометричними розмірами: діаметр ≈ 10 мм, глибина ≈ 3 мм, радіус заокруглення граней 6 мм, приводяться на рис. 2. Величина напружень подається відповідно до критерію Мізеса в Па.

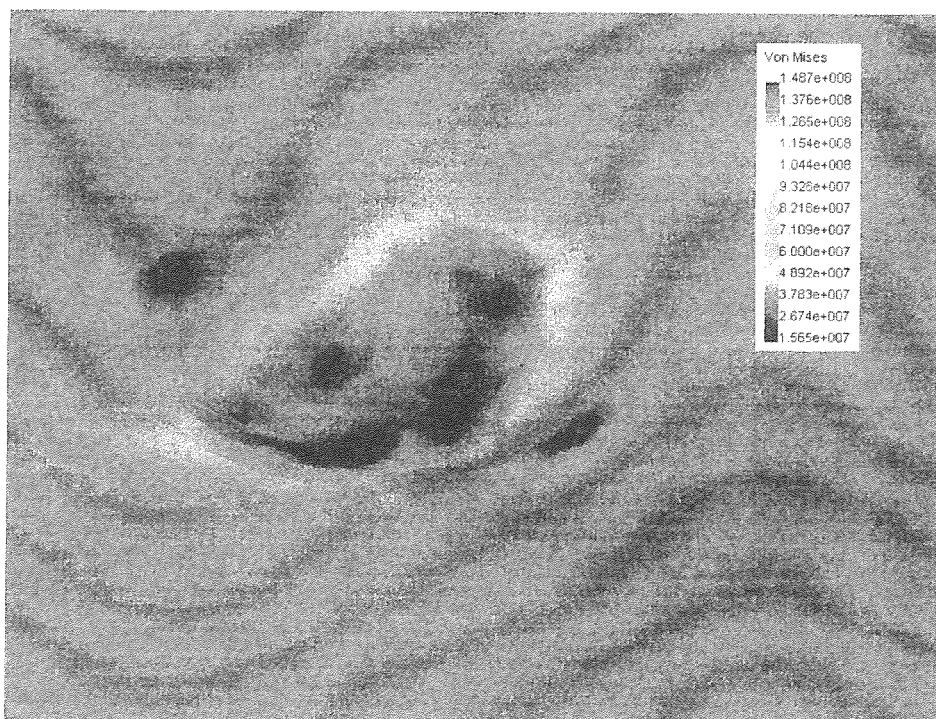


Рис. 2. Напруження в околі дефекту поверхні труби

Як бачимо, тоді як, загальний напружений стан матеріалу далекий від критичного, дефекти поверхні труб можуть зумовлювати достатньо високу локальну концентрацію напружень. Остання значно підвищує ймовірність виникнення надзвичайної ситуації, тобто втрати цілісності труби, яка призведе до витікання нафтопродуктів.

При необхідності можна відтворити всю поверхню труби із існуючими дефектами. Це дасть змогу не лише визначити напружено-деформований стан трубопроводу, а й оцінити взаємодію та взаємовплив дефектів між собою.

Важливою перевагою комп'ютерного програмного забезпечення, що реалізує метод скінченних елементів, є можливість моделювання зміни напружено-деформованого стану трубопроводу в часі – отримання анімаційного відображення процесу в передісторії виникнення надзвичайної ситуації. Останнє є корисним для оперативного оцінювання часткових (критичних) випадків навантаження трубопроводу. Тобто, створивши повну комп'ютерну модель трубопроводу, можна без виконання повторних і додаткових обчислень прогнозувати виникнення та розвиток надзвичайних ситуацій техногенного та природного характеру. Наприклад, для випадку підняття рівня русла річки або вимивання берегової лінії (збільшення вільного прольоту трубопроводу).

Отже, аналіз отриманих даних свідчить, що класичні розрахункові методи, які застосовуються в трубопровідному транспорті, через прийняті спрощення у розрахункових схемах є недостатньо інформативні та не забезпечують потрібної точності для окремих особливих випадків. Їх краще використовувати на стадії розробки проектної документації.

Сучасний розвиток комп'ютерної техніки та програмного забезпечення дає змогу оперативно застосовувати для аналізу напружено-деформованого стану надземних переходів трубопроводів метод скінченних елементів. Останній забезпечує більш цілісну картину діючого напружено-деформованого стану, особливо при локальному пошкодженні поверхні труби. Створення анімаційних комп'ютерних моделей напружено-деформованого стану трубопроводу дає змогу оперативно прогнозувати виникнення та розвиток надзвичайних ситуацій техногенного та природного характеру.

ЛІТЕРАТУРА

1. Бабин Л. А., Быков Л. И., Волохов В. Я. Типовые расчеты по сооружению трубопроводов. – М.: Недра, 1979. – 176 с.
2. Шимкович Д. Г. Расчет конструкций в MSC/Nastran for Windows. – М.: ДМК Пресс, 2003. – 448 с.
3. Алямовский А. А. Solid Works/COSMOSWorks. Инженерный анализ методом конечных элементов. – М.: ДМК Пресс, 2004. – 432 с.
4. Зенкевич О. Метод конечных элементов в технике. – М.: Мир, 1975. – 234 с.
5. Андрійшин М. П., Возняк Л. В., Гімєр Р. Ф. Гідромеханіка. – Івано-Франківськ.: Ч.І., 1994. – 136 с.