

Сертифікація, стандартизація, якість

УДК 621.643.006.8

ПРО НЕОБХІДНІСТЬ УДОСКОНАЛЕННЯ НОРМАТИВНО-ТЕХНІЧНОЇ ДОКУМЕНТАЦІЇ В РОЗРАХУНКАХ НА МІЦНІСТЬ НАФТО- І ГАЗОПРОВОДІВ З ДЕФЕКТАМИ

¹М.В.Беккер, ²І.В.Ориняк, ³В.В.Розгонюк

¹ ДК „Укртрансгаз”, м. Київ, вул. Кловський узвіз, 9/1, тел. (044) 4612010

² Інститут проблем міцності НАН України, м. Київ, вул.. Тимірязєвська, 2, тел. (044) 2949481

³ Представництво ТОВ „Газекспорт” в Україні, м. Київ, вул. Артема, 26-В, тел. (044) 4902526

Описаны общие тенденции в развитии процедур оценки дефектов в трубопроводах. Отмечено, что большинство современных документов основано на всесторонне-обоснованном двухкритериальном подходе, который одновременно учитывает возможность как хрупкого так и вязкого разрушения. Отмечены недостатки современных Украинских норм по расчету дефектов и предложены пути по их преодолению.

The general trends in the development of the pipeline defect assessment procedures are outlined. It is noted that most of modern documents are based on the sophisticated two-criteria approach, which takes into account the possibility of the brittle fracture as well as the plastic collapse. The drawbacks of the corresponding Ukrainian Code are featured. The possible ways of the overcoming them are given.

1. Сучасний стан НТД з оцінки впливу дефектів магістральних трубопроводів на їх експлуатаційні характеристики

Оцінка впливу різного роду дефектів магістральних нафто- і газопроводів на значення їх експлуатаційних характеристик здійснюється з використанням цілої низки нормативно-технічних документів (НТД), які розділяють на групи.

До першої належать нормативи, які регламентують якість виготовлення труб і виконання робіт під час будівництва трубопроводів. Такі документи, як правило, містять суб'єктивні і дуже консервативні вимоги щодо розмірів дефектів, які ніяк не пов'язані з реальним станом характеристик матеріалу і рівнем навантаженості. І якщо їх застосування на етапі виготовлення можна виправдати вимогами до якості, то під час експлуатації трубопроводів їх застосування призводить до невиправданих витрат на ремонтні роботи, проведення яких часто пов'язане з виникненням додаткових, більш небезпечних дефектів чи збільшенням рівня навантаження.

Трубопровідна промисловість за останні 40 років виробила специфічні методи оцінки дефектів, які базуються на повномасштабних натурних експериментах з обмеженою теоретичною основою. Найвідомішим прикладом є формули, одержані в інституті ім. Баттеля (США) в кінці 60-х років на замовлення фахівців з атомної енергетики. Ці формули, які відносять до другої групи, використовують тільки один параметр матеріалу, пов'язаний з його характеристиками міцності. Формули інституту ім. Баттеля покладено в основу критеріїв допустимості для корозійних дефектів у трубопроводах, викладених у багатьох нормативних документах. Такі емпіричні методи застосовуються в “трубопровідно-орієнтованих” методиках. Проте ці підходи можуть давати хибні результати, якщо їх застосовувати за межами умов, що мали місце в експериментальних роботах. З іншого боку, трубопровідноспецифічні вимоги, які реалізовано в таких відомих стандартах, як B31G [1], BGC/PS/P11 [2], DNV-RP-F101 [3], RSTRENGTH [4], є прості в користуванні для прийняття рішень, встановлюють зрозумілі й

прийнятні коефіцієнти запасу і не вимагають від оператора розуміння критеріїв та механізмів руйнування.

Дедалі ширшого застосування в трубопроводній промисловості набувають загально-методичні стандарти оцінки міцності елементів, що містять дефекти. Це пояснюється тим, що механізми пошкоджуваності та зменшення міцності є спільними для різних матеріалів та елементів конструкцій і описуються фундаментальними положеннями механіки деформівного твердого тіла та руйнування і не вкладаються в прості емпіричні схеми. Тому зрозумілою є й певна тенденція до розробки універсальних процедур та міжгалузевих стандартів з оцінювання міцності. Основний недолік цих документів полягає в тому, що вони не відповідають конкретним вимогам щодо системи коефіцієнтів запасу міцності, яка історично склалася в певних галузях. До таких загальних норм, які відносять до третьої групи, належить загально-визнана універсальна процедура на основі двокритеріального підходу механіки руйнування R6 [5], розроблена як стандарт у British Energy в 1976 р., а в 2000 р. вийшла його четверта редакція. Цей документ ліг в основу багатьох національних і міжгалузевих стандартів. Як приклад, його положення використовуються в загальноєвропейському документі SINTAP [6], а також в американському стандарті API 579 [7], що застосовується в нафтохімічній та енергетичній індустрії.

Останнім часом спостерігається прогресивна тенденція в нормотворенні, а саме: розробка норм, що поєднують переваги методик другої і третьої груп. Прикладом таких документів, який відносять до четвертої групи норм, є Керівництво з розрахунку дефектів, розроблене фірмою Пенспен на замовлення провідних нафтогазових компаній [8]. У стандарті API 579 також є елементи поєднання процедур розрахунку до конкретних галузей, оскільки система коефіцієнтів запасу береться з відповідних документів на проектування.

2. Стан проблеми в Україні

До останньої групи норм можна віднести і ВБН В.2.3-00018201.04-2000 [9]. В основу ВБН було закладено прогресивну ідеологію, яка характеризується такими особливостями:

- застосування двокритеріального підходу процедури R6 [10], яка використовує діаграму оцінки руйнування для можливості одночасного аналізу дефекту за двома граничними станами – крихкого руйнування і пластичного колапсу;

- використання сучасних методів визначення параметрів міцності на основі підходів механіки руйнування та пластичного граничного аналізу для кількісного аналізу трубопроводу з дефектом;

- використання коефіцієнтів надійності, успадкованих від норм на проектування СНиП 2.05.06-85 [11], для отримання неперервних рішень у процесі переходу від бездефектного матеріалу до матеріалу з дефектом;

- формування простої системи класифікації і схематизації дефектів технологічного та експлуатаційного походження;

- формування системи додатків, що мають рекомендований або довідковий характер щодо механічних характеристик трубних сталей, кореляційних залежностей визначення характеристик тріщиностійкості та ін.;

- високий ступінь алгоритмізації положень документа, що дає можливість паралельно з його розробкою створити комп'ютерну програму StrengthPRO, яка значно спрощує процес розрахунків.

Разом з тим, аналіз сучасних тенденцій в галузі забезпечення надійності високонавантажених конструкцій і практичне застосування ВБН виявив низку його недоліків.

Перш за все це пов'язано з тим, що в розвинутих країнах починає впроваджуватись принципово новий підхід до забезпечення безаварійного супроводу технічних об'єктів і трубопроводного транспортування зокрема. Методологія, покладена в його основу, отримала назву Система Керування Цілісністю (СКЦ) і детальніше описана в [12]. Щодо трубопроводів, СКЦ регламентує періодичне виконання “програм якості” на основі ідеології ризику-аналізу для забезпечення нормативних показників надійності [13, 14]. Одним з базових елементів, ядром СКЦ, є регламентовані або рекомендовані процедури оцінювання технічного стану і довговічності конструкцій, так звані процедури “придатності до експлуатації” (fitness-for-service) або “придатності за призначенням” (fitness-for-purpose). Оскільки СКЦ є не тільки засобом підвищення безпеки, подовження ресурсу, поліпшення виробничої культури і взаємозв'язку операторів і суспільства, а також і засобом оптимізації витрат на діагностування і ремонт, то проведені оцінки мають чітко ранжувати проблемні ділянки за ступенем ризику. Тому в документах західних фахівців декларується перехід від обмежувальних і заборонних вимог до цільових (goal-setting) вимог, якими є показники надійності. Як важливий елемент цільових вимог, розрахунок міцності і довговічності має базуватись на розгляді всіх граничних станів для вивчених механізмів пошкоджуваності.

В ідеалі, відповідно до СКЦ, Норми “придатності до експлуатації” (до яких можна віднести ВБН) мають доповнювати Норми на проектування і будівництво за рахунок розгляду специфічних граничних станів, що можуть виникнути на етапі експлуатації. У зв'язку з цим вони повинні в принципових моментах узгоджуватись з останніми, зберігаючи певну спадковість. Це положення, наприклад, впливає з необхідності отримання узгоджених рішень у процесі переходу від бездефектного матеріалу до матеріалу з дефектом за використання однакової системи коефіцієнтів надійності. Разом з тим, коефіцієнти надійності за матеріалом у СНиП неявно враховують можливість дефектів, а норми на будівництво допускають наявність зварних дефектів глибиною до 10-15% від товщини стінки. Очевидно, що нормами “придат-

ності до експлуатації” розглядаються фактичні дефекти і якісь гіпотетичні дефекти не повинні враховуватися. Для подолання такої невідповідності в деяких зарубіжних стандартах рівень допустимого навантаження для етапу експлуатації встановлюється на 10% більший, ніж для етапу проектування, що відповідно зменшує на цей відсоток коефіцієнт запасу міцності.

Чинний ВБН не повною мірою відповідає вимогам СКЦ (про що йтиметься далі) і вимагає певного доопрацювання. Основна причина полягає в тому, що ВБН тісно пов'язаними з СНиП 2.05.06-85, які є вже застарілими. Ці Норми, побудовані на принципі допустимих напружень (не враховується, що напруження різної природи і локалізації по-різному впливають на граничний стан), не враховують багатьох типових схем навантаження і граничних станів, прийнята в них система коефіцієнтів надійності за додатковими навантаженнями і впливами не узгоджується з точки зору досягнення граничних станів з коефіцієнтом для внутрішнього тиску. Очевидно, що різні чинники і впливи в СНиП враховуються з різним ступенем консерватизму, що суперечить принципам СКЦ, де рівень оцінок за різними граничними станами та для різних конструктивних елементів має мати однаковий ступінь консерватизму. Це є необхідною умовою для об'єктивного порівняння різних за розміром і походженням дефектів, що підпадають під дію різних експлуатаційних впливів для подальшого планування першочерговості і об'ємів ремонтних робіт. В іншому випадку стає можливим віднесення навіть безпечних дефектів до розряду критичних (недопустимих), що однозначно буде збільшувати вартість обслуговування, причому не завжди найпроблемніші ділянки трубопроводу будуть класифіковані як першочергові для виконання ремонтних робіт.

Порівнюючи ВБН з найдосконалішими західними нормами, можна виділити важливу обставину – останні припускають визначення поточного стану міцності трубопроводів, виходячи з кількох рівнів аналізу – від найпростішого до більш складних, і простіші є найбільш консервативними. Це пов'язано зі складністю розрахунку за різними критичними станами, тому завдяки точності аналізу і збільшенню консерватизму досягається можливість швидкого прийняття керівних рішень оператором. За потребою певні проблемні ситуації можна розрахувати точніше.

Значним недоліком чинних ВБН є те, що вони дають можливість оцінити лише поточний стан міцності трубопроводу з дефектом. Навіть якщо дефект віднесено до категорії безпечних, оператору важливо знати, коли саме він стане недопустимим. На це питання дає відповідь лише розрахунок довговічності (залишкового ресурсу) на основі врахування можливих механізмів пошкоджуваності. У ВБН досить докладно викладена процедура оцінки дефектів, проте мало уваги приділено аналізу результатів з точки зору прийняття рішень, важливих для оператора, а саме: впорядкування (ранжування)

дефектів за ступенем небезпеки, визначення термінів і режимів подальшої експлуатації та першочерговості проведення ремонтів.

3. Пропозиції щодо удосконалення чинного ВБН

Аналіз стану НТД у світі і в Україні з оцінки впливу дефектів магістральних трубопроводів на їх експлуатаційні характеристики вказує на нагальну потребу розробки нової редакції чинних ВБН В.2.3-00018201.04-2000. Така робота проводиться фахівцями нафтогазового комплексу та Інституту проблем міцності НАН України вже тривалий час, а в останній період у рамках договору на замовлення НАК „Нафтогаз України”. Зупинимось коротко на основних положеннях, які мають бути враховані в новій редакції ВБН.

Перш за все в новій редакції ВБН використовується дещо інша модель діаграми оцінки руйнування (ДОР) [10] для тріщиноподібних дефектів, яка менш консервативна відносно тієї, що була закладена в попередній редакції ВБН.

Допустимий стан, за якого дозволяється експлуатація трубопроводу, пропонується визначати через зменшення навантажень граничного стану шляхом використання системи коефіцієнтів надійності (коефіцієнти умов роботи, надійності за матеріалом, надійності за призначенням), що регламентується СНиП 2.05.06-85 [8]. На їх основі визначається допустимий коефіцієнт запасу міцності k , що характеризує допустимий стан, значення якого встановлюється на 10% меншим за відповідний інтегральний коефіцієнт надійності [8]. Разом з таким додатковим резервом щодо допуску дефектів (зменшення консервативності) у нову редакцію ВБН, як певна протипага, введено поправку на розмір дефекту. Значення цієї поправки визначається похибкою (дисперсією) замірів розмірів засобами діагностування і кожний лінійний розмір дефекту повинен бути збільшений на її числове значення.

Поряд зі встановленням допустимого коефіцієнта запасу міцності в новій редакції ВБН пропонується регламентувати розрахунок реального коефіцієнта запасу міцності. Цей коефіцієнт визначається через відношення рівня навантажень і впливів, за яких досягається граничний стан трубопроводу з дефектом, що встановлюються певним критерієм, до поточного рівня навантажень і впливів. Перевірка умови статичної міцності полягає в порівнянні реального і допустимого коефіцієнтів запасу міцності.

Для всіх дефектів пропонується введення обов'язкової процедури розрахунку за граничним станом “пластичний колапс”. Для тріщиноподібних дефектів додається ще й розрахунок коефіцієнтів інтенсивності напружень (КІН) з метою визначення ступеня наближення до граничного стану “крихке руйнування”. У зв'язку з тим, що виконання класичного граничного пластичного аналізу для тіла з дефектом

є досить складним завданням, пропонуються три можливі рівні розрахунків (відносно граничного стану “пластичний колапс”), які відрізняються ступенем складності. Зі збільшенням складності розрахунку зменшується ступінь консервативності оцінок.

У новій редакції ВБН пропонується процедура розрахунку довговічності трубопроводу. Вона формулюється, виходячи з чотирьох пошкоджувальних чинників, що погіршують з часом стан конструкції, а саме: деградації механічних властивостей матеріалу, корозійного ураження, стрес-корозії та втомного циклічного навантаження. Розрахунок довговічності полягає в перевірці умови статичної міцності за максимальних робочих параметрів навантажень з урахуванням кінетики пошкодження матеріалу з плином часу.

За результатами розрахунку на статичну міцність і довговічність у новій редакції ВБН пропонується система прийняття рішень, яка дає можливість здійснити впорядкування (ранжування) дефектів за ступенем небезпеки, планувати терміни та обсяги ремонтних або відновлювальних робіт та ін.

Нова редакція ВБН має враховувати більшу кількість видів дефектів, що мають бути оцінені, наприклад, дефекти типу розшарування металу та дефекти форми типу неспіввісності. У даний час завершуються роботи над новими розділами ВБН “Коефіцієнти надійності і запасу міцності”, “Розрахунок Довговічності”, “Прийняття рішень”. Завершена робота над новим додатком “Визначення швидкостей росту дефектів”.

Автори переконані, що запропоновані зміни та доповнення до чинного ВБН В.2.3-00018201.04-2000 відповідають сучасним вимогам нормотворення, значно розширюють межі його застосування і сприятимуть якіснішому виконанню робіт з оцінювання дефектомістких ділянок трубопроводів. Цілком очевидно, що оцінювання дефектомістких ділянок трубопроводів є ключовою методичною ланкою у впровадженні системи керування цілісністю магістральних трубопроводів.

Висновки

1. У статті подається аналіз стану НТД з оцінки впливу дефектів магістральних трубопроводів на їх експлуатаційні характеристики.

2. Для ознайомлення зі станом речей з цієї проблеми в Україні приводиться оцінка чинного ВБН В.2.3-00018201.04-2000 і пропозиції щодо його удосконалення.

Література

1. ASME B31G. Manual for determining the remaining strength of corroded pipelines. American Society of Mechanical Engineers Code for Pressure Piping. 1993.
2. British Gas engineering standard BGC/PS/P11. Procedures for inspection and repair of damaged steel pipelines (Designed to operate at pressure above 7 bar). December, 1983.
3. DNV-RP-F101. Corroded Pipelines. Det Norske Veritas, 1999.
4. Kiefner, J. F., Vieth, P. H. A Modified Criterion for Evaluating the Strength of Corroded Pipe. Final Report for Project PR 3-805 to the Pipeline Supervisory Committee of the American Gas Association. Battelle, 1989, Ohio.
5. R/H/R6 “Assessment of the Integrity of Structures Containing Defects”. British Energy Generation Ltd. 1999.
6. Ainsworth R.A., Bannister A.C., Zerbst U. An overview of the European flaw assessment procedure SINTAP and its validation. International Journal of Pressure Vessels and Piping, 77 (2000), p.869-876.
7. Fitness-For-Service, API Recommended Practice 579. First Edition, American Petroleum Institute, January, 2000.
8. Cosham A., Hopkins P. The Pipeline Defect Assessment Manual. Proceedings of IPC 2002. International Pipeline Conference, 29 September – 3 October, 2002, Calgary, Alberta, Canada.
9. ВБН В.2.3-00018201.04-2000. Розрахунки на міцність діючих магістральних трубопроводів з дефектами. – К.: Вид-во Інституту проблем міцності, 2000. – 57 с.
10. Ориняк І.В., Тороп В.М., Вислобіцький П.А. Методологія оцінки залишкової міцності магістральних трубопроводів з тріщинами // Нафт. і газ. пром-сть. – К., 1998. – №1. – С. 31-37.
11. СНиП 2.05.06-85. Магістральні трубопроводи. Строительные нормы и правила. – М.: ЦИТП Госстроя СССР, 1985. – С. 52.
12. Ориняк І.В., Розгонюк В.В., Тороп В.М., Білик С.Ф. Ресурс, довговічність і надійність трубопроводів. Огляд сучасних підходів і проблеми нормативного забезпечення в Україні // Нафт. і газ. пром-сть. – К., 2003. – № 4. – С. 54-57.
13. The Pipeline Safety Regulation (SI 1996 No 825). HMSO, UK, 1996.
14. API Standard 1160. Managing System Integrity for Hazardous Liquid Pipeline. 2001.