

Основні особливості національного стандарту ДСТУ-Н Б В.2.3-21:2008 “Визначення залишкової міцності магістральних трубопроводів із дефектами”

І. В. Ориняк, А. Я. Красовський, М. В. Бородій

Інститут проблем міцності ім. Г. С. Писаренка НАН України, Київ, Україна

Розглянуто відомі підходи, нормативні документи щодо оцінки дефектів магістральних трубопроводів та проаналізовано переваги і недоліки вітчизняних трубопровідних норм. Представлено основні положення нового нормативного документа, який регламентує оцінку міцності і залишкового ресурсу трубопроводів з експлуатаційними дефектами.

Ключові слова: магістральний трубопровід, оцінка дефектів, довговічність, граничний стан, залишкова міцність.

Вступ. Для оцінки небезпеки дефектів магістральних трубопроводів зазвичай використовують різні нормативні документи. Наприклад, на практиці часто користуються нормами, які регламентують якість виготовлення труб, або нормами допуску дефектів під час будівництва трубопроводів. Такі документи характеризуються суб'єктивними і дуже консервативними вимогами щодо розмірів дефектів, які жодним чином не пов'язані з реальним станом матеріалу і рівнем навантаженості конструкції. І якщо їх використання на етапі будівництва трубопроводу можна виправдати вимогами якості та гарантування безпеки на проектний термін експлуатації, то на етапі експлуатації будемо мати не виправдані затрати на ремонтні роботи, проведення яких часто пов'язане з виникненням додаткових (більш небезпечних) дефектів або зі збільшенням рівня навантаженості конструкції.

Трубопровідна промисловість за останні 40 років виробила також специфічні методи оцінки дефектів, що базуються на повномасштабних натурних експериментах з обмеженою теоретичною основою. Найбільш відомим прикладом їх є методи на основі формул, отриманих в Інституті ім. Баттеля (США) в кінці 60-х років на замовлення атомної енергетики. У цих емпіричних формулах використовується лише один параметр матеріалу, пов'язаний з характеристиками міцності. Ці формули покладено в основу багатьох нормативних документів в якості критеріїв допустимості корозійних дефектів у трубопроводах, які отримали назву “трубопровідно-орієнтованих” методик. Проте за допомогою таких підходів можна отримати некоректні результати, якщо розрахунки проводити без урахування умов, що мали місце в експериментальних випробуваннях. З іншої сторони, трубопровідно-орієнтовані вимоги, які реалізовані в таких відомих стандартах, як ASME B31G [1], BGC/PS/P11 [2], DNV-RP-F101 [3], RSTRENG [4], є простими у користуванні при прийнятті рішень, встановлюють зрозумілі і прийнятні коефіцієнти запасу і не вимагають від оператора трубопроводу розуміння критеріїв та механізмів руйнування.

Дедалі ширшого застосування в трубопровідній промисловості набувають загальнометодичні стандарти оцінки міцності елементів із дефектами. Це пояснюється тим, що механізми пошкоджуваності та втрати несівної здатності є спільними для різних матеріалів і елементів конструкцій, описуються фундаментальними положеннями механіки деформівного твердого тіла та механіки руйнування і не вкладаються в прості емпіричні схеми. Тому зрозуміла і певна тенденція до розробки універсальних процедур та міжгалузевих стандартів з оцінки міцності. Основний недолік цих документів полягає в тому, що вони не прив'язані до конкретних вимог щодо системи коефіцієнтів запасу міцності, які історично склалися в певних галузях промисловості. До загальних норм можна віднести відому універсальну процедуру на основі двокритеріального підходу механіки руйнування R6 [5], яку розроблено як стандарт в British Energy в 1976 р. У 2000 році вийшла вже четверта редакція R6. Цей документ покладено в основу багатьох національних і міжгалузевих стандартів. Як приклад наведемо загальноєвропейський документ SINAP [6] і американський стандарт API 579 [7], який використовується в нафтохімічній та енергетичній галузях.

В останній час намітилась прогресивна тенденція в нормотворенні стосовно розробки норм, що поєднують переваги трубопровідно-орієнтованих і загальнометодичних стандартів. Прикладом таких документів є розроблене фірмою “Пенспен” на замовлення провідних нафтогазових компаній “Керівництво щодо розрахунку дефектів” [8]. У стандарті API 579 [7] також є елементи прив'язки процедур розрахунку до конкретних галузей, оскільки система коефіцієнтів запасу береться з відповідних документів на проектування. До цієї групи норм можна віднести і розроблений в Україні стандарт [9].

У даній роботі розглядається вітчизняний досвід нормотворення в галузі забезпечення безаварійної експлуатації трубопровідних систем на прикладі нормативних документів ВБН В.2.3-00018201.04-2000 [9] та введеного на його заміну ДСТУ-Н Б В.2.3-21:2008.

Основні положення ВБН В.2.3-00018201.04-2000. Розроблені в 2000 р. відомчі будівельні норми України [9] були першою спробою впровадження у вітчизняне нормотворення сучасних підходів щодо оцінки дефектів. Ці норми можна віднести до останньої групи стандартів, які поєднують положення трубопровідно-орієнтованих і загальнометодичних стандартів. В основу ВБН було покладено прогресивну ідеологію, яка характеризується такими особливостями:

застосування двокритеріального підходу R6 [10], який враховує 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 кількісної оцінки трубопроводу з дефектом;

використання коефіцієнтів надійності з норм на проектування [11] для отримання безперервних розв'язків при переході 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 стосовно механічних характеристик трубних сталей, кореляційних залежностей визначення характеристик тріщиностійкості тощо;

висока ступінь алгоритмізації положень документа, що дозволило паралельно з його розробкою створити комп'ютерну програму Strength PRO, яка значно спрощує процес розрахунків.

Аналіз сучасних тенденцій в галузі забезпечення надійності високонавантажених конструкцій і практичне застосування ВБН [9] дозволили виявити ряд його недоліків. У першу чергу це пов'язано з тим, що в розвинутих країнах починає впроваджуватись принципово новий підхід до забезпечення безаварійного супроводу технічних об'єктів і трубопровідного транспорту зокрема. Методологія, що покладена в його основу, отримала назву "Системи управління цілісністю" (СУЦ) і детально описана в [12, 13]. Стосовно трубопроводів СУЦ регламентує періодичне виконання "програм якості" на основі ідеології ризик-аналізу для забезпечення нормативних показників надійності [14, 15]. Одним із базових елементів, тобто суттю СУЦ, є регламентовані або рекомендовані процедури оцінки технічного стану і довговічності конструкцій, так звані норми "Придатності до експлуатації" (fitness-for-service) чи "Придатності за призначенням" (fitness-for-purpose). Оскільки СУЦ є не тільки засобом підвищення безпеки, подовження ресурсу, покращання виробничої культури і взаємозв'язку операторів і суспільства, але й оптимізації затрат на діагностування і ремонт, проведені оцінки мають чітко ранжувати проблемні ділянки за ступенем ризику. Тому в зарубіжних документах декларується перехід від обмежуючих і забороняючих вимог до цільових (goal-setting), якими є показники надійності. Як важливий елемент цільових вимог, розрахунок міцності і довговічності має базуватись на розгляді найбільш важливих граничних станів та вивченні механізмів пошкоджуваності.

У відповідності з СУЦ норми "Придатності до експлуатації", до яких можна віднести ВБН, мають доповнювати норми на проектування і будівництво в частині 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 наступність. Це положення, наприклад, впливає з необхідності отримання узгоджених рішень при переході від бездефектного матеріалу до матеріалу з дефектом за використання однакової системи коефіцієнтів надійності. Разом із тим коефіцієнти надійності за матеріалом у [11] мають консервативні значення для врахування можливих дефектів матеріалу, що цілком виправдано на етапі проектування і будівництва. Однак на етапі експлуатації норми "Придатності до експлуатації" дозволяють аналізувати реальні експлуатаційні дефекти, і застосування проектних коефіцієнтів надійності для визначення допустимих станів може призвести до того, що навіть допустимі дефекти глибиною до 10% будуть вважатись небезпечними. Більше того, згідно з нормами на будівництво мінусовий допуск на товщину стінки труби складає до 10%. За таких обставин при використанні проектної системи коефіцієнтів надійності навіть бездефектний матеріал може не задовольняти умови міцності. Із метою подолання такої невідповідності при збереженні єдиної системи коефіцієнтів

надійності для проектних і експлуатаційних норм у деяких зарубіжних стандартах встановлюється, що на етапі експлуатації рівень допустимої міцності на 10% більший, аніж на етапі проектування, що відповідно зменшує допустимий коефіцієнт запасу міцності. З огляду на цю обставину норми [9] вимагали певного доопрацювання.

Ще однією причиною перегляду норм було те, що вони тісно прив'язані до положень стандарту [11], які, на жаль, уже застаріли, а саме: використання принципу допустимих напружень (не враховується, що напруження різної природи і локалізації по-різному впливають на граничний стан); не розглядається багато типових схем навантаження і граничних станів; прийнята в них система коефіцієнтів надійності щодо додаткових навантажень і впливів не узгоджується з точки зору досягнення граничних станів із коефіцієнтом для внутрішнього тиску. Очевидно, що різні чинники і впливи в [11] враховуються з різним ступенем консерватизму, що суперечить принципам СУЦ, де рівень оцінок за кожним граничним станом для різних конструктивних елементів повинен бути порівнюваним (мати однаковий ступінь консерватизму). Це є необхідною умовою для об'єктивного порівняння різних за розміром і походженням дефектів, що зазнають дії різноманітних експлуатаційних впливів, для подальшого планування першочерговості й об'ємів ремонтних робіт. В іншому випадку стає можливим віднесення навіть безпечних дефектів у розряд непрохідних, що однозначно збільшуватиме вартість обслуговування, причому не завжди найбільш проблемні ділянки трубопроводу будуть класифіковані як першочергові для виконання ремонтних робіт.

Порівнюючи ВБН [9] із найбільш розповсюдженими зарубіжними нормами, можна виділити важливу обставину: останні допускають визначення поточного стану міцності трубопроводів на основі декількох рівнів аналізу – від найпростішого до більш складного. Найпростіші аналізи є найбільш консервативними. Це пов'язано з труднощами розрахунку за різними граничними станами, тому шляхом зменшення точності аналізу і збільшення консерватизму оператор може швидко прийняти управлінські рішення. Проте завжди залишається можливість (при потребі) певні проблемні ситуації прорахувати більш точно.

Значним недоліком ВБН [9] є те, що вони дозволяють оцінити лише поточний стан міцності трубопроводу з дефектом. Навіть якщо дефект віднесений до категорії безпечних, оператору важливо знати, коли з часом він стане небезпечним. На це питання дає відповідь лише розрахунок довговічності (залишкового ресурсу) на основі врахування можливих механізмів пошкоджуваності.

Досить докладно викладено процедуру оцінки дефектів, проте мало уваги приділено аналізу результатів із точки зору прийняття рішень, важливих для оператора трубопроводу, а саме: поділ дефектів за ступенем небезпеки, визначення термінів і режимів подальшої експлуатації та першочерговості проведення ремонтів.

Ці та інші важливі моменти спонукали авторів [9] до вдосконалення відомчих будівельних норм шляхом внесення змін та доповнень. Оскільки їх об'єм перевищував 50% основної частини документа, було прийнято рішення розробляти його як нову редакцію ВБН. У подальшому при обговоренні на

спеціалізованих нарадах у профільних державних комітетах його було запропоновано затвердити як Державний стандарт України.

Основні положення ДСТУ-Н Б В.2.3-21:2008. У стандарті [16] метод розрахунку міцності за статичного навантаження ґрунтується на трьох необхідних складових: по-перше, повинні бути сформульовані граничні стани можливого руйнування та їх критерії; по-друге, обґрунтовані коефіцієнти запасу для визначення допустимих станів і, по-третє, розрахункові методи мають бути практично апробовані.

У стандарті використовуються такі граничні стани: крихке руйнування та пластичний колапс. Використання діаграми оцінки руйнування (ДОР) дозволяє визначати стан міцності трубопроводу з дефектом одночасно при взаємодії крихкого руйнування та пластичного колапсу. Для тріщиноподібних дефектів використовуються обидва критерії, для тривимірних дефектів і дефектів форми – лише один (пластичний колапс). У новому стандарті [16] використовується дещо інша модель діаграми оцінки руйнування [10], яка є менш консервативною по відношенню до тієї, що була закладена в ВБН [9] (рис. 1). На рис. 1 прийнято такі позначення: K_r – безрозмірний коефіцієнт інтенсивності напружень, що характеризує міру наближення до крихкого руйнування; S_r – довідкове напруження, що характеризує ступінь наближення до в'язкого руйнування.

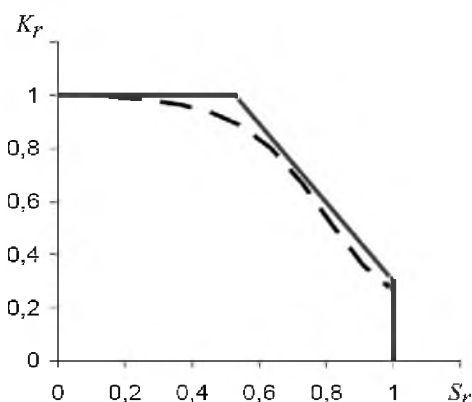


Рис. 1. Діаграма оцінки руйнування (штрихова лінія – ВБН [9], суцільна – ДСТУ-Н [16]).

Допустимий стан, за якого дозволяється експлуатація трубопроводу, визначається рівнем навантаження, що відповідає навантаженню граничного стану, зменшеного у k разів, де k – допустимий коефіцієнт запасу міцності. Цей коефіцієнт визначається на основі системи коефіцієнтів надійності (коефіцієнти умов роботи, надійності за матеріалом, надійності за призначенням), які регламентуються нормами на проектування [11]. У новому стандарті коефіцієнт k встановлюється на 10% меншим за відповідний інтегральний коефіцієнт надійності [11]. Разом із таким додатковим резервом щодо зменшення консервативності в стандарт введено поправку на розмір дефекту. Значення цієї поправки визначається абсолютною величиною похибки діагностичного приладу, який використовується для виявлення дефекту. Кожний лінійний розмір дефекту повинен бути збільшений на цю величину.

Стандарт регламентує розрахунок реального коефіцієнта запасу міцності n . Цей коефіцієнт визначається відношенням рівня навантажень і впливів, за яких досягається граничний стан трубопроводу з дефектом за певним критерієм, до поточного рівня навантажень і впливів. Перевірка умови статичної міцності полягає в порівнянні реального і допустимого коефіцієнтів запасу міцності. Умова міцності виконується при $n \geq k$.

Реальний коефіцієнт запасу міцності n визначається розрахунковими методами. У стандарті використовуються розрахункові методи, що базуються на підходах механіки руйнування (для характеристики граничного стану – крихка міцність), на даних пружного аналізу або на аналітичних і числових процедурах граничного пластичного аналізу (для характеристики граничного стану – пластичний колапс). У новому стандарті на відміну від попередніх норм аналітичні методи розрахунку уточнені шляхом врахування дотичних напружень від дії крутильного моменту і згинальних напружень при розгляді труби як оболонки.

Для всіх дефектів обов'язковою є процедура розрахунку за граничним станом “пластичний колапс”. Для тріщиноподібних дефектів додається ще й розрахунок коефіцієнтів інтенсивності напружень (КІН) із метою визначення ступеня наближення до граничного стану “крихке руйнування”. У зв'язку з тим, що проведення граничного пластичного аналізу для тіла з дефектом є досить складним, стандарт [16] регламентує три можливих рівня розрахунків по відношенню до граничного стану “пластичний колапс”, які відрізняються ступенем складності (табл. 1). Зі збільшенням номера рівня розрахунку зростає ступінь наближення до більш точної розрахункової схеми і відповідно зменшується ступінь консервативності оцінок. Можливість багаторівневого розрахунку дозволяє оператору планувати роботи з аналізу стану міцності трубопроводу в залежності від їх важливості і терміновості з одночасним досягненням прийнятної точності.

Перший рівень розрахунків передбачає проведення процедури граничного пластичного (для тріщиноподібних дефектів і тривимірних дефектів) і пружного (для дефектів форми) аналізів. Зазначимо, що за допомогою пружного аналізу можна оцінити пластичний колапс як перше наближення. Причому через систему коефіцієнтів перенавантажень [7] для зменшення надмірної консервативності пружного розрахунку пропонується враховувати різну природу діючих на трубопровід навантажуючих чинників і відповідних напружень. За природою походження в стандарті розрізняють первинні (зумовлені необхідністю врівноважування зовнішніх навантажень) та вторинні (самоврівноважені, зумовлені вимогою неперервності деформацій) напруження. Окрім того, класифікація проводиться за ступенем локалізації напружень: напруження приймаються мембранними, якщо їх розподіл є однорідним по всьому перерізу, згинальними – якщо змінюються лінійно по всьому перерізу труби, локально-згинальними – якщо змінюються лінійно по товщині стінки, і піковими – якщо розподілені локально нерівномірно (зона концентрації). Для проведення кількісного аналізу в стандарті регламентуються відповідні коефіцієнти перенавантаження для різних категорій напружень з урахуванням поєднання різних за природою і локалізацією напружень із визначенням результуючих напружень. Для напружень, що діють в одному або проти-

Т а б л и ц я 1

Рівні розрахунків та їх основні характеристики

Рівень розрахунку	Етап розрахунку	Тріциноподібні дефекти	Тривимірні дефекти	Дефекти форми
1	Граничні стани	Крихка міцність В'язке руйнування	В'язке руйнування	В'язке руйнування
	Класифікація напружень	Немає	Немає	Є
	Параметри розрахунку	КІН K_I Довідкове напруження σ_r	Довідкове напруження σ_r	Еквівалентне пружне напруження $\sigma_{екв}$
	Критерій міцності	ДОР	Граничне навантаження	Граничне навантаження
2	Граничні стани	Крихка міцність В'язке руйнування	В'язке руйнування	В'язке руйнування
	Класифікація напружень	Є	Є	Є
	Параметри розрахунку	КІН K_I Довідкове напруження σ_r	Довідкове напруження σ_r	Довідкове напруження σ_r
	Критерій міцності	ДОР	Граничне навантаження	Граничне навантаження
3	Граничні стани	Крихка міцність В'язке руйнування	В'язке руйнування	В'язке руйнування
	Класифікація напружень	Немає	Немає	Немає
	Параметри розрахунку	КІН K_I Еквівалентне напруження $\sigma_{екв}$	Еквівалентне напруження $\sigma_{екв}$	Еквівалентне напруження $\sigma_{екв}$
	Критерій міцності	ДОР	Граничне навантаження	Граничне навантаження

лежних напрямках, результуючі напруження визначаються простою суперпозицією, для тих, що діють в ортогональних напрямках, – через еквівалентні напруження за третьою теорією міцності.

Для другого рівня розрахунку передбачається використання аналітичних процедур граничного пластичного аналізу та врахування класифікації напружень для всіх типів дефектів. Слід зазначити, що класифікація напружень у даному випадку здійснюється лише за природою їх походження (первинні, вторинні), оскільки моделі граничного пластичного аналізу враховують різну локалізацію напружень.

Розрахунки за двома першими рівнями можна виконати з використанням рекомендованих процедур стандарту, що містяться в додатках. Останній, третій рівень розрахунку базується на проведенні граничного пластичного аналі-

зу із застосуванням числових процедур методу скінченних елементів. Він є найбільш точним і універсальним, проте об'єктивно і найбільш трудомістким із високими вимогами до рівня кваліфікації виконавця.

У новому стандарті запропоновано процедуру розрахунку довговічності трубопроводу за наявності дефектів. Розглядаються чотири пошкоджувальні чинники, що погіршують із часом стан конструкції, а саме: деградація механічних властивостей матеріалу; корозійне ураження; стрес-корозія та втомне циклічне навантаження. Розрахунок довговічності полягає у перевірці виконання умови переходу труби з дефектом у критичний стан за максимальних робочих параметрів навантажувань, врахуванні швидкості росту дефектів із плином часу (зміни їх розмірів) та деградації механічних характеристик матеріалу. Довговічність визначається мінімальним проміжком часу від поточного стану до кінцевого, який відповідає руйнуванню труби з дефектом, тобто $n = 1$, або коли дефект проросте в глиб матеріалу до значення 80% від товщини стінки.

За результатами розрахунку на статичну міцність і довговічність запропоновано систему прийняття рішень, що дозволяє здійснити поділ дефектів за ступенем небезпеки, планувати терміни та об'єми ремонтних або відновлювальних робіт тощо. На рис. 2 зображено ДОР із зонами, що відповідають певним категоріям небезпеки дефектів, а в табл. 2 наведено категорії дефектів та відповідні їм управлінські рішення з термінами виконання.

Т а б л и ц я 2

Категорії дефектів та управлінські рішення

Категорія пошкодження	Категорія дефекту	Рішення
Легке	Незначний	Ремонт не обов'язковий. Провести розрахунок на довговічність у термін до 12 місяців. За рівнем довговічності призначити спостереження за дефектом.
Середнє	Помірний	У термін до шести місяців провести розрахунок на довговічність та виконати ремонтні роботи для переведення дефекту в категорію "дефект незначний" або зменшити тиск у трубопроводі до $\leq 0,9P_{\max}$ чи нижче, який необхідно розрахувати. Як виняток – обмежений термін експлуатації з першим моніторингом через шість місяців, один раз на рік.
	Значний	У термін до двох місяців вжити заходів щодо усунення дефекту або переведення його в категорію "дефект помірний". Як виняток – обмежений термін експлуатації з першим моніторингом через два місяці, два рази на рік.
Важке	Критичний	Виконати ремонтні роботи з усунення дефекту, зменшити тиск до безпечних значень, зупинка експлуатації трубопроводу.

У новому стандарті дещо збільшено кількість дефектів: додатково розглядаються дефекти форми типу неспіввісності, які мають місце при виконанні будівельних робіт на етапі зварювання. Більш досконало викладено розділи,

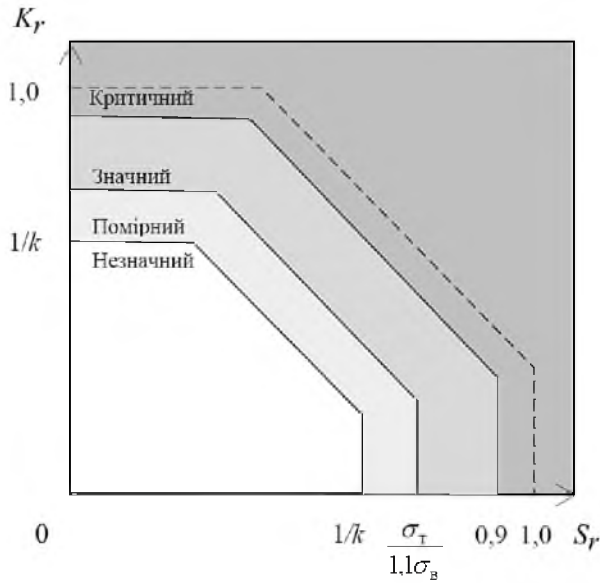


Рис. 2. Категорії дефектів.

що регламентують навантаження трубопроводу і розрахункові силові характеристики, виходячи з розгляду трубопроводу не тільки як криволінійного стрижня, але й як тонкостінної оболонки. Рекомендовані додатки зазнали певних змін, що зумовлено як включенням більш досконалих методів розрахунків (наприклад, для вм'ятин), так і новою методикою розрахунків взагалі. Через останню обставину в стандарт введено нові розділи “Коефіцієнти надійності та запасу міцності”, “Розрахунок довговічності”, “Висновки та рекомендації” і додатки, наприклад “Визначення швидкостей росту дефектів”.

Висновки. Розроблений нормативний документ має значно ширші межі застосування у порівнянні з попередньою версією, відповідає сучасним вимогам нормотворення і може сприяти більш якійсій оцінці залишкової міцності дефектомістких ділянок трубопроводів. У разі впровадження на підприємстві системи управління цілісністю трубопроводів він може складати одну з ключових методичних ланок.

Резюме

Рассмотрены известные подходы, нормативные документы по оценке дефектов магистральных трубопроводов и проанализированы преимущества и недостатки отечественных трубопроводных норм. Представлено основные положения нового нормативного документа, который регламентирует оценку прочности и остаточного ресурса трубопроводов с эксплуатационными дефектами.

1. *ASME B31G*. Manual for Determining the Remaining Strength of Corroded Pipelines. ASME 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. and 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, Ohio, 1989.
5. *R/H/R6 “Assessment of the Integrity of Structures Containing Defects”*, British Energy Generation Ltd, 1999.
6. *Ainsworth R. A., Bannister A. C., and Zerbst U. An overview of the European flaw assessment procedure SINTAP and its validation // Int. J. Press. Vess. Piping. – 2000. – 70. – P. 869 – 876.*
7. *Fitness-for-Service*. API Recommended Practice 579, First Edition, American Petroleum Institute, January, 2000.
8. *Cosham A. and Hopkins P. The pipeline defect assessment manual: Proc. IPC 2002 (29 Sept.–3 Oct., 2002)*. – Calgary, Alberta, Canada, 2002.
9. *ВБН В.2.3-00018201.04-2000. Розрахунки на міцність діючих магістральних трубопроводів з дефектами. – 2000. – 57 с.*
10. *Ориняк І. В., Торон В. М., Вислобіцький П. А. Методологія оцінки залишкової міцності магістральних трубопроводів з тріщинами // Нафтова і газова пром-сть. – 1998. – № 1. – С. 31 – 37.*
11. *СНиП 2.05.06-85. Магистральные трубопроводы. – М.: ЦИТП Госстроя СССР, 1985. – 52 с.*
12. *Ориняк І. В., Розгонюк В. В., Торон В. М., Білик О. Ф. Ресурс, довговічність і надійність трубопроводів. Огляд сучасних підходів і проблеми нормативного забезпечення в Україні // Нафтова і газова пром-сть. – 2003. – № 4. – С. 54 – 57.*
13. *Розгонюк В. В., Руднік А. А., Ориняк І. В., Білик С. Ф. Про систему керування цілісністю магістральних трубопроводів. Поняття ризик-аналізу // Розвідка та розробка нафтових і газових родовищ. – 2004. – № 3 (12). – С. 120 – 125.*
14. *The Pipeline Safety Regulation (SI 1996, No. 825)*. – HMSO, UK, 1996.
15. *API Standard 1160. Managing System Integrity for Hazardous Liquid Pipeline*, 2001.
16. *ДСТУ-Н Б В.2.3-21:2008. Магістральні трубопроводы. Настановы. Визначення залишкової міцності магістральних трубопроводів з дефектами. – Чинний з 01.01.2009 р.*

Поступила 05. 01. 2009