

Сертифікація, стандартизація, якість

УДК 622.692.4

ПОРІВНЯННЯ ВИМОГ ДО РОЗРАХУНКУ ПРОЕКТНОЇ ТОВЩИНИ СТІНКИ У ВІТЧИЗНЯНИХ І ЗАКОРДОННИХ НОРМАХ НА ПРОЕКТУВАННЯ ТРУБОПРОВОДІВ

В.В.Розгонюк

„Газекспорт”, м. Київ, вул. Артема 26-В, тел. (044) 4902526
e-mail: VRozgonyuk@gastransit.com.ua

Выполнен анализ норм на проектирование линейной части трубопроводов для транспорта нефти и газа. Показана необходимость ее совершенствования и обобщения с целью расширения возможностей использования нормативной базы во время производства трубных сталей, проектирования, строительства, эксплуатации и проведения реабилитационно-восстановительных работ на трубопроводах.

The analysis of existing Codes for design of oil and gas Pipeline Transportation Systems is performed. The need for the modification and expansion of normative base is outlined with the goal of its application at different stages of design, construction, testing, operating and maintenance.

Основою для проектування лінійної частини трубопроводів, що являють собою однотипні інженерні споруди, є відома “котельна” формула (в американській літературі формула Барлоу), яка пов’язує величину діючих кільцевих напружень σ із внутрішнім тиском p , товщиною стінки t і радіусом труби R .

В усіх стандартах номінальну товщину стінки труб визначають залежно від допустимих максимальних напружень, а також класу або категорії трубопроводу

$$t = \frac{pD_3}{2[\sigma]F},$$

де: p – максимальний робочий тиск; D_3 – зовнішній діаметр труби; $[\sigma]$ – допустимі значення напружень для матеріалу труб; F – коефіцієнти запасу міцності (надійності), що визначаються допустимими значеннями діючих напружень.

Вибір $[\sigma]$ і коефіцієнтів запасу є основною відмінністю різних норм у виборі товщини стінки. Вибір допустимих напружень для трубопроводів перебуває в постійній еволюції та є предметом дискусії і в наш час. Аналіз історичного розвитку норм і сьогоденної світової практики є істотним для обґрунтування величини допустимих напружень.

Проведемо короткий ретроспективний аналіз норм на проектування в колишньому Радянському Союзі. Умовно можна виділити два історичних періоди. Перший період до кінця 1950-х років характеризується відсутністю спеціалізованих норм на проектування трубопроводів. Їх роль виконували методики і правила проектування в інших галузях промисловості або країнах, а також загальноприйнята сформована практика, відображена, наприклад, у монографіях [1, 2]. До 1955 р. проектування трубопроводів і відповідно розрахунок номінальної товщини стінки труб здійснювалися за межею міцності металу σ_b (див. табл. 1). Після 1955 р. – за межею текучості σ_T [1].

Другий період знаменується розробкою в 1962 р. відповідного стандарту СНиП [3] на проектування магістральних трубопроводів. Відповідно до останнього, розрахунок проектною товщини стінки трубопроводу слід було здійснювати як за межею текучості, так і за межею міцності металу. За номінальну товщину приймалося більше з двох одержаних значень. У 1975 р. будівельні норми і правила були переглянуті [4]. Відмінною рисою нових норм було те, що, по-перше, вони декларували розрахунок за граничними станами, і як наслідок за характеристику матеріалу приймалася межа міцності, а по-друге, норми включали систему

Таблиця 1

Джерело	Формула	Допустимі напруження	Параметри рівняння
[20] 1948	$t = \frac{pD_3}{2R_z}$	R_z – допустимі напруження за межею міцності	$R_z = 35\%$ від σ_B
[21] 1955	$t = \frac{pD_3}{2R_z}$	R_z – допустимі напруження за межею текучості	$R_z = \frac{\sigma_T}{q}$, $q = 1.7$ для прямих труб $q = 2.0$ для інших
[22] 1962	$t = \frac{pnD_3}{2(R_z^* + pn)}$ $t = \frac{pnD_3}{2(0.9R_z^3 + pn)}$	R_z^H, R_z^* – допустимі напруження в трубі згідно з різними методиками	t вибирається більшим з двох одержаних
[23] 1975 [24] 1985	$t = \frac{pnD_3}{2(R_1 + pn)}$	R_1 – розрахункові напруження міцності труб, визначені за межею міцності металу	$R_1 = \frac{R_1^H m}{k_1 k_n}$ k_1 – коефіцієнт надійності за металом; k_n – коефіцієнт надійності за призначенням

коефіцієнтів надійності за матеріалом і призначенням, що доповнювала раніше введену систему класів і категорій трубопроводів. У 1985 р. вийшла чинна в даний час версія норм на проектування [5], що була викликана необхідністю підсилення вимог до пластичності матеріалу й опору нестабільному розвитку дефектів у зв'язку з випадками лавинних руйнувань трубопроводів. У частині проектного вибору товщини стінки норми не зазнали істотних змін.

Оскільки норми використовували різні характеристики матеріалу і системи коефіцієнтів запасу, важко провести пряме порівняння між вимогами різних норм. Однак аналіз для типових трубопровідних сталей у типових умовах експлуатації, проведений у роботах [6, 7], засвідчив, що загалом зміна вітчизняних норм здійснювалася в напрямку постійного зменшення коефіцієнтів запасу (товщини стінки). З другого боку, спостерігається все більша диференціація вимог до різних ділянок трубопроводу за рахунок впровадження широкого спектра коефіцієнтів надійності, що відбивають різні наслідки можливих руйнувань цих ділянок. Така тенденція відповідає сучасній методології проектування й експлуатації об'єктів підвищеної небезпеки, яка ґрунтується на підходах ризик-аналізу, оскільки витримується один з основних принципів ризик-аналізу: чим більші можливі наслідки відмови, тим більші запаси міцності повинні забезпечуватися.

До висновку про зниження вимог до товщини стінки в більш нових нормах необхідно

відноситися з деякою стриманістю, яка зумовлена двома обставинами.

1. Істотним недоліком вітчизняних норм є те, що принципи і правила проектування, будівництва й експлуатації описані в різних документах, а не в одному, як це нерідко має місце у світовій практиці. Оскільки різні норми встановлюють різні допустимі характеристики металу, то часто це призводить до нездоланних протиріч. Суть основного протиріччя зводиться до такого [7]. Норми проектування встановлюють робочі напруження як деяку частину від межі міцності. Відповідно до правил будівництва трубопроводів СНиП III-42-80 [8] необхідно провести випробування трубопроводу на напруження не менших 1,1 від робочих, але при цьому напруження в процесі випробувань трубопроводу не повинні перевищувати заводські напруження під час приймання труб на заводах-виготовлювачах. Оскільки останні встановлюються стандартами як частина від межі текучості, то за визначених співвідношень характеристик міцності і пружності металу неможливо задовольнити двом згаданим вимогам інакше, як знижуючи допустимі робочі напруження для трубопроводу. Дане протиріччя є тим більшим, чим менше відношення σ_T / σ_B для металу і чим більший мінусовий допуск на товщину стінки допускається відповідним стандартом на виготовлення труб. Як приклад у роботі [7] показано, що для трубопроводу діаметром 325 мм, виготовленого зі сталі 20, що експлуатується в найменш жорстких умовах, для забезпечення проведення гідравлічного випробування [8] тиском товщина стінки труби повинна при-

близко на 25%-30% перевищувати розрахункову. У роботі [6] показано, що за деяких темпе-

Таблиця 2

Стандарт	Умова	Коефіцієнт запасу за межею текучості	Коефіцієнт запасу за межею міцності
США В31.4	Кільцеві напруження	0.72	
США В31.8 „Транспортування газу і розподільчі системи”	Кільцеві напруження		
	Клас 1, розділ 1	0.80	
	Клас 1, розділ 2	0.72	
	Клас 2	0.60	
	Клас 3	0.50	
	Клас 4	0.40	
Великобританія BS 8010 „Трубопроводи на землі: Сталі для нафти і газу”	Кільцеві напруження		
	Катег. У	0.72	
	Катег. 3&D, Клас 1	0.72	
	Катег. 3&D, Клас 2	0.30	
	Катег. 3&D, Клас 3	0.30	
Канада CSA Z662 „Нафто- і газотрубопровідні системи”	Кільцеві напруження		
Основний чинник, залежний від локалізації і типу устаткування	0.80 0.50–0.80		
Данія NEN 3650 „Вимоги для сталей магістральних трубопроводів”	Кільцеві напруження		
Спрощена процедура аналізу	0.55–0.72		
Європа CEN PrEN 1594 „Трубопроводи для транспортування газу”	Кільцеві напруження		
	Основний метод проектування	0.67	0.42
	Альтернативний метод проектування	0.67	0.53
Німеччина DIN 2470 Частина 2: „Сталі газопроводів ”	Кільцеві напруження	0.62–0.67	

ву, отриману за нормами на проектування [5]. Таку невідповідність можна було б усунути, якби зазначені документи не базувалися на принципово різних підходах. Те, що ці підходи повинні поєднуватися на основі використання межі текучості свідчить не тільки закордонний досвід, але й природна вимога недопущення пластичних деформацій в процесі експлуатації трубопроводу. До речі, така вимога як додаткова, відображена в СНиПе [5].

2. Сучасні вітчизняні норми досить чітко регламентують збільшення номінальних товщин стінок за наявності стискуючих осьових зусиль, які, зокрема, мають місце для підземних трубопроводів, експлуатованих за температур, вищих, ніж температура замикання трубопроводу в ході будівництва. З метою обліку стискаючих осьових напружень під час перевірного розрахунку вводиться додатковий коефіцієнт на допустимі кільцеві напруження $\psi \leq 1$, встановлений на основі третьої теорії міцності. Особливістю цього коефіцієнта є те, що в разі зменшення осьових напружень від нуля до від'ємних величин він монотонно зменшується-

ратур вимоги нових норм можуть бути більш жорсткими.

Яка ж ситуація з нормами проектування в західних країнах? Сучасний стан норм на проектування досить чітко висвітлено в роботі [9]. У ній також наводиться порівняльний аналіз сучасних норм проектування трубопроводів і, зокрема, наведена таблиця коефіцієнтів запасу в процесі проектування (див. табл. 2), що визначають рівень допустимих напружень під час розрахунку номінальної товщини стінки труби за межею текучості металу. Як бачимо з таблиці 4, усі норми як основну характеристику металу використовують межу текучості, у той час, як нові Європейські норми регламентують проектні розрахунки як за межею текучості, так і за межею міцності, але при цьому вони залишаються досить консервативними. Найбільш гнучкими є норми США і Канади, що допускають досить високі рівні напружень, велику градацію трубопроводів за категоріями відповідальності. Слід зазначити, що рівень напружень 0.8 був введений відносно недавно, в 1990 році. Окрім того, порівняно з аналогічними Нормами на проектування в Радянському Союзі, у США

[10, 11] методика розрахунку товщини стінки концептуально не зазнала істотних змін з 1958 р. Розрахунок з самого початку і по нинішній

гими. Наприклад, сталі США мають, звичайно, більше співвідношення межі текучості до межі міцності, що призводить до зменшення інтегра-

Таблиця 3 [12]

Країна	Категорія, клас ділянки	Коефіцієнт умов роботи	Коефіцієнт запасу міцності	Допустимі напруження	
				МПа	%
Росія	III-IV	0.9	1.76	341	100
	I-II	0.75	2.10	286	119
	У	0.6	2.61	230	148
США, Канада	1	0.72	1.77	339	101
	2	0.6	2.13	282	121
	3	0.5	2.55	235	145
	4	0.4	3.19	188	181
Великобританія	-	0.72	1.86	323	106
	-	0.6	2.24	268	127
Німеччина	-	1.6	2.15	279	122
	-	1.7	2.28	263	129

день здійснюється за межею текучості металу.

Такий підхід висунув відповідні вимоги до виробників трубних сталей, яким необхідно було робити сталі з високим відношенням межі текучості до межі міцності. Окрім того, американські норми є єдиними як для проектування, так і будівництва й експлуатації, чим вони принципово відрізняються від Радянських норм. Особливістю багатьох західних норм є можливість їх використання в процесі проектування за граничними станами, які забезпечують можливість індивідуального узгодження з наглядовими органами коефіцієнтів запасу, у тому числі на внутрішній тиск.

Порівняльний аналіз вимог до товщини стінки за нормами різних країн здійснити ще більш складно. Проведення прямого порівняння категорій трубопроводів за вітчизняними нормами і закордонними не зовсім правомірне через невідповідність підходів до визначення категорій та класів трубопроводів і принципів обґрунтування коефіцієнтів запасу, а також через використання різних характеристик міцності металу. Проте на прикладі конкретних трубопроводів і сталей часто проводяться такі порівняння і фіксуються більш слабкі вимоги до товщини стінки за вітчизняними нормами. У роботі [12] для порівняння автор вибрав інтегральний коефіцієнт запасу міцності (за межею міцності) для газопроводів діаметром 1420 мм (матеріал труби: $\sigma_T = 470$ МПа, $\sigma_B = 600$ МПа), що працює під тиском 7.5 МПа для різних категорій трубопроводів у різних країнах. У табл. 3 наведено порівняльні дані щодо коефіцієнтів запасу міцності. З таблиці випливає, що вітчизняні норми виявилися найменш консервативними за цим показником.

Разом з тим такі результати дуже конкретні і для інших сталей і розмірів трубопроводів співвідношення коефіцієнтів можуть бути дру-

лього коефіцієнта запасу міцності (за межею міцності) відповідно до норм ASME. Окрім того, в Америці для деяких газопроводів використовується неврахований в таблиці 3 коефіцієнт запасу 0,8.

Більш об'єктивний аналіз відмінностей вітчизняних [5] і американських норм був проведений у роботі [13], де розглянуті чинні стандарти ASME – B31.4 [14] і B 31.8 [10] США, що є міжнародними галузевими і застосовуються в процесі проектування, будівництва й експлуатації нафто- і газопроводів. Зазначено [13], що досить складно встановити, які норми дають більш економічне і надійне вирішення за допомогою простого порівняння результатів розрахунків. Зокрема, згадані норми використовують різне визначення межі текучості. Якщо у вітчизняних нормах межі текучості відповідає залишкова деформація 0,2%, то за нормами ASME – 0,5%. Отже, для тієї ж сталі в Америці вихідний рівень межі текучості буде вищим, а значить, підвищиться і рівень допустимих напружень. Принциповою відмінністю є врахування стискаючих осьових напружень. Якщо у вітчизняних нормах їх наявність повинна однозначно призводити до підвищення товщини стінки, то в нормах ASME вони враховуються тільки за умови, коли осьові напруження перевершують деякий ненульовий поріг. У США використовується інша градація на категорії трубопроводу. У цьому плані норми ASME виявилися менш жорсткими, оскільки допускають розміщення в зоні трубопроводів житлових будинків, у той час як за вітчизняними нормами це неприпустимо.

Норми США постійно удосконалюються, у них введені розрахунки на різні граничні стани, а також елементи ризик-аналізу. Це дає змогу, наприклад, обґрунтувати збільшення тиску в процесі експлуатації. Крім того, Комі-

тетом В31.8 постійно здійснюється робота з перегляду коефіцієнтів запасу за межею текучості. У 2000 р. Комітетом рекомендовано чергове їх збільшення (див. табл. 4), а отже, послаблені вимоги до номінальної товщини стін-

Таблиця 4

Категорія	Коефіцієнти запасу за межею текучості	Рекомендовані коефіцієнти запасу за межею текучості
Клас 1, розділ 1	0.80	0.80
Клас 1, розділ 2	0.72	0.76
Клас 2	0.60	0.68
Клас 3	0.50	0.57
Клас 4	0.40	0.46

ки або до тиску транспортування газу [9].

Визначення товщини стінки є принциповим моментом у нормах і ґрунтується на умові попередження пластичного статичного руйнування. Однак для забезпечення цілісності трубопроводу необхідно розглядати й інші граничні стани.

На підставі викладеного можна зробити деякі висновки.

1. Вітчизняна нормативна база трубопроводного транспорту нафти і газу має потребу в узагальненні та удосконаленні щодо розширення можливості її використання під час виробництва трубних сталей, проектування, будівництва, експлуатації і проведення реабілітаційно-відновлювальних робіт на трубопроводах.

2. Удосконалення і розвиток нормативної бази необхідно здійснювати з урахуванням використання різних граничних станів трубопроводу, а також з урахуванням використання методу ризик-аналізу, що дає можливість, окрім іншого, обґрунтовувати збільшення експлуатаційних параметрів трубопроводів.

Література

1. Яблонский В.С., Ветр Г.И. Сооружение и эксплуатация нефтепроводов. – М.-Л.: Гостоптехиздат, 1948. – 384 с.
2. Добыча и транспорт газа / А.А.Брисман, А.К.Иванов, А.А.Козлов и др. – М.: Гостоптехиздат, 1955. – 551 с.
3. СНиП П-Д.10-62. Магистральные трубопроводы. 1962.
4. СНиП П-45-75. Магистральные трубопроводы. Нормы проектирования. 1975.

5. СНиП 2.05.06-85 Магистральные трубопроводы. Строительные нормы и правила. – М.: ЦИТП Госстроя СССР, 1985. – 52 с.

6. Бородавкин П.П. Подземные магистральные трубопроводы. – М.: Недра, 1982. – 384 с.

7. Кутынский Я.М. Анализ отечественных документов по определению прочности труб // Газовая промышленность. – 1994. – С. 26-29.

8. СНиП III-42-80. Магистральные трубопроводы. Правила производства и приемки работ.

9. Evaluation of pipeline design factors. Gas Research Institute. GRI 00/0076. 2000. 94 p.

10. ASA B31.8-58. Магистральные и распределительные газопроводы. Американские технические правила. – М.: Гостоптехиздат, 1961. – 144 с.

11. ANSI/ASME B31.8 – 1982. Газотранспортные и газораспределительные трубопроводные системы. (Стандарт США).


12. Иванцов О.М. Оценка надежности и безопасности газопроводных магистралей // Газовая промышленность. – 2000. – №11. – С. 48-50.

13. Айбиндер А., Такса Б., Дальтон П., Грин В. Прочностные критерии в американских нормах проектирования нефтегазопроводов и их сопоставление с критериями российских норм СНиП 2.06.06-85 // Газовая промышленность. – 1994. – №2. – С. 31-34.

14. American Society of Mechanical Engineers, Liquid Transportation Systems for Hydrocarbons, Liquid Petroleum Gas, Anhydrous Ammonia, and Alcohols, ASME B31.4, New York, New York. – 1989. – 91 p.

МИ ЧЕКАЄМО НА ВАС !

МІСЦЕ ВАШОЇ РЕКЛАМИ



З питань виготовлення і розміщення реклами звертатися:
м. Івано-Франківськ, 76019, вул. Карпатська 15, ІФНТУНГ,
Редакція журналу "Розвідка та розробка нафтових і газових родовищ", тел.: (03422) 42002, тел./факс: (03422) 42139,