

4. Расчет поперечных рам стального каркаса одноэтажных промышленных зданий с учетом пространственной работы конструкций. – М.: Государственный проектный институт «Проектстальконструкция», 1957. – 47с.

5. Шапиро, Г.А. Действительная работа стальных конструкций промышленных цехов / Г.А. Шапиро. – М.: Госстройиздат, 1952. – 288 с.

6. Ермак, Е.М. Совершенствование расчетных моделей и конструкций для продления сроков эксплуатации промышленных зданий: автореф. дис....докт. техн. наук / Е.М. Ермак; ХГАЖТ. – Харьков, 2003. – 36 с.

7. Натурні випробування сталевого каркаса / Пічугін С.Ф., Семко О.В., Патенко Ю.Е., Дунаєв В.Г, Крикля В.О, Маслов Е.М. // Інноваційні технології життєвого циклу об'єктів жилищно-громадського, промислового і транспортного призначення: сб. науч. тр. – Дніпропетровськ: ПГАСиА. – Вип. 56. – С. 320 – 324.

Надійшла до редакції 28.03.2011

© С.Ф. Пічугін, Ю.Э. Патенко, И.А. Петров, С.С. Шматко

ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОЕ ИССЛЕДОВАНИЕ ПРОСТРАНСТВЕННОЙ РАБОТЫ СТАЛЬНОГО КАРКАСА

В статье изложена методика натурных испытаний по исследованию пространственной работы каркаса производственного здания. Проанализировано влияние связевых элементов на обеспечение пространственной работы. Представлено описание объекта и результаты натурных испытаний.

Ключевые слова: пространственная работа, стальной каркас, натурные испытания, система связей.

EXPERIMENTAL INVESTIGATION OF STEEL FRAME SPATIAL PERFORMANCE

The article describes the testing technique of full-scale investigations. These investigations were concerned with the spatial performance of the steel frame of production building. The influence of the bracing system on assurance of the spatial performance was analyzed. The description of researched object and some results of the investigation are presented.

Key words: spatial performance, steel frame, full-scale investigation, bracing system.

С.Ф. Пічугін, д.т.н., проф., О.Є. Зима, аспірант, Т.М. Нездойминога, студентка

Полтавський національний технічний університет імені Юрія Кондратюка

О.Г. Хохлов, к.т.н., доц.

Кременчуцький національний університет імені Михайла Остроградського

ВПЛИВ ДОПУСКІВ ПРИ БУДІВНИЦТВІ НА НАДІЙНІСТЬ МАГІСТРАЛЬНИХ ТРУБОПРОВОДІВ

Проаналізовано систему допусків при будівництві лінійної частини магістральних трубопроводів. Показано, що оцінка величини відхилень залежить не тільки від похибки будівельних робіт, а й від похибок вимірювань. Розглянуто питання впливу допусків на надійність магістральних трубопроводів.

Ключові слова: магістральний трубопровід, надійність, допуски вимірювань, геодезичні виміри.

Постановка проблеми. Розвиток трубопровідного транспорту зумовлюється наявністю його вагомих переваг над іншими видами транспорту. Зростаюча роль нафти і газу в народному господарстві призводить до швидкого збільшення потужності вантажопотоків, що створює необхідність будівництва магістральних трубопроводів.

Важливою складовою якості магістрального трубопроводу є його надійність. Одним із напрямів її забезпечення при будівництві трубопроводу є визначення теоретичними розрахунками та експериментальними дослідженнями допустимих відхилень (допусків) від розрахункових параметрів. Оцінка величини відхилень залежить не тільки від похибки будівельних робіт, а й від похибок вимірювань. Дія величини похибок може призвести до прийняття в експлуатацію споруд із фактичними параметрами, що перевищують допуск, або забракувати споруду з параметрами, які задовольняють допуск. Це призведе до того, що у першому випадкові відбудеться зниження розрахункової надійності споруди, у другому – необхідними будуть додаткові витрати на виправлення помилок.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. На сьогоднішній день питання введення допусків є досить значимим і впливовим при проектуванні магістральних трубопроводів. Дослідженням питань впливу допусків при проектуванні нафтогазопроводів займалися А.Б. Айбиндер, В.Д. Білоусов, А.А. Коршак, А.М. Нечваль, В.П. Таран, Г.П. Хохлов та інші [1–4, 8, 9].

Виділення не розв'язаних раніше частин загальної проблеми. Незважаючи на значну кількість досліджень щодо розрахунку магістральних трубопроводів, питання можливості застосування теорії надійності до системи трубопроводу з урахуванням допусків не розглядалися.

Формулювання цілей статті. Метою статті є виділення факторів, що відіграють важливу роль при розрахунку надійності магістральних трубопроводів, їх вплив на можливе забракування працездатної конструкції магістрального трубопроводу або на небезпеку використання ненадійних трубопроводів.

Виклад основного матеріалу. Міцність трубопроводу забезпечується шляхом розрахунку напружень, що виникають у ньому в процесі будівництва й експлуатації, та порівняння їх з опором матеріалу труб. У трубопроводі діють радіальні, поздовжні й кільцеві напруження. Радіальні напруження в тонкостінних трубопроводах високого тиску мають порівняно малі значення і звичайно в розрахунках не враховуються. Кільцеві напруження визначаються за формулою

$$\sigma_{ки} = \frac{PD_{вн}}{2\delta}, \quad (1)$$

де P – внутрішній тиск у трубопроводі; $D_{вн}$ – внутрішній діаметр трубопроводу; δ – товщина стінки трубопроводу. У цю формулу геодезичні вимірювання входять неявно, через величину P , хоча вони несуттєво впливають на точність розрахунку кільцевих напружень.

Сумарні поздовжні напруження у трубопроводі дорівнюють

$$\sigma_{екв} = \sigma_{позд.p} + \sigma_{позд.\Delta T} + \sigma_{позд.зг.}, \quad (2)$$

де $\sigma_{позд.p}$ – поздовжні напруження від внутрішнього тиску; $\sigma_{позд.\Delta T}$ – поздовжні напруження, що виникають від перепаду температур; $\sigma_{позд.зг.}$ – поздовжні напруження, які виникають від вигину трубопроводу. На поздовжні напруження від внутрішнього тиску майже не впливає точність геодезичного виміру

$$\sigma_{позд.p} = 0,15 \frac{PD_{вн}}{\delta}. \quad (3)$$

Напруження в трубопроводі від перепаду температур

$$\sigma_{позд.\Delta T} = \alpha E \Delta T, \quad (4)$$

де $\alpha = 0,000012$ – коефіцієнт лінійного розширення матеріалу труби; $E = 2,06 \cdot 10^5 \text{ МПа}$ – модуль пружності матеріалу труби; ΔT – розрахунковий температурний перепад, °С. Максимальна або мінімальна температура стінок труб у процесі експлуатації визначається залежно від температури транспортованого продукту і ґрунту на глибині закладання труб. Однак, відповідно до норм [5], розрахунковий температурний перепад для підземних магістральних трубопроводів приймають не менше $\Delta T = \pm 40^\circ\text{C}$. При розрахунку температурного режиму трубопроводу несприятливим фактором є складання похибок визначення температури продукту, що транспортується, та ґрунту як додатних, так і від’ємних. Похибка укладання магістрального трубопроводу у вертикальній площині не повинна викликати похибки в температурному режимі більше $\Delta T = 0,36^\circ\text{C}$.

Згідно з нормами [6], температура ґрунту в зоні закладення трубопроводів вимірюється на глибині 0,8 і 1,6 м, а в проміжних точках визначається інтерполяцією. На території України різниця екстремальних температур ґрунту на глибині 0,8 та 1,6 м у середньому становить 3 °С. Тому можемо скласти відповідну пропорцію, з якої виведемо наступне:

$$\frac{0,8 \text{ м}}{\Delta h} = \frac{3^\circ\text{C}}{\Delta T}, \quad \Delta h = \frac{0,8 \text{ м} \cdot 0,36^\circ\text{C}}{3^\circ\text{C}} \cong 0,1 \text{ м}.$$

Таким чином встановлена точність, із якою потрібно вимірювати глибину траншеї, якщо не проводиться нівелювання її дна, щоб виключити вплив на розрахунковий температурний режим трубопроводу.

Поздовжні напруження від згину визначаються з виразу

$$\sigma_{зг.} = \frac{ED_{згн.}}{2R}, \quad (5)$$

де R – радіус кривизни осі трубопроводу, см.

Ураховуючи, що $R = \frac{L}{\varphi}$, то отримаємо $\sigma_{зг.} = \frac{ED_{згн.}\varphi}{2L}$. Величина поздовжніх

напружень, котрі виникають у стінках труб при поворотах, залежить від кутових та лінійних елементів кривих. Саме вона буде лімітувати точність вимірів при проектуванні та будівництві магістрального трубопроводу. При будівництві трубопроводів допускають відхилення від мінімально допустимого радіуса природного або штучного вигину до 10 %.

Важливим завданням є визначення втрат напору в трубопроводі. Величину втрат напору можна виразити через добуток ухилу на відстань, ураховуючи шорсткість стінок, діаметр труб, швидкість течії, різний характер тиску продукту. Максимальні

відхилення дослідних даних від розрахункових при визначенні коефіцієнта гідравлічного тертя λ не перевищують 6 % [9].

Труби не є строго циліндричними, адже відхилення їх по діаметру можуть бути 1,5 % [7]. Це відхилення відбувається приблизно в однаковій мірі як у бік зменшення діаметра, так і у бік збільшення. У першому випадку гідравлічний опір труби збільшують, а в другому зменшують. У підсумку по всьому трубопроводу в цілому гідравлічний опір вирівнюється й похибки виготовлення труб практично не впливають на ухил. Гранична похибка при визначенні напору

$$\frac{\Delta H}{H} = 0,06, \quad (6)$$

де H – напір продукту, що перекачується.

Ураховуючи, що $\Delta_r = 0,3\Delta_n$ (де Δ_r – гранична похибка гідравлічного розрахунку, обумовлена похибками даних негеодезичного характеру; Δ_n – допуск на похибки геодезичних вимірювань), маємо $\Delta_r = 0,018H$.

Природна гнучкість труб, яка дозволяє згинатися їм під дією власної ваги у вертикальній площині, дає можливість укладати трубопровід паралельно поверхні землі, чим досягається значне прискорення будівельних робіт. Із зростанням діаметра збільшується поздовжня жорсткість трубопроводу і здатність його копіювати рельєф різко знижується.

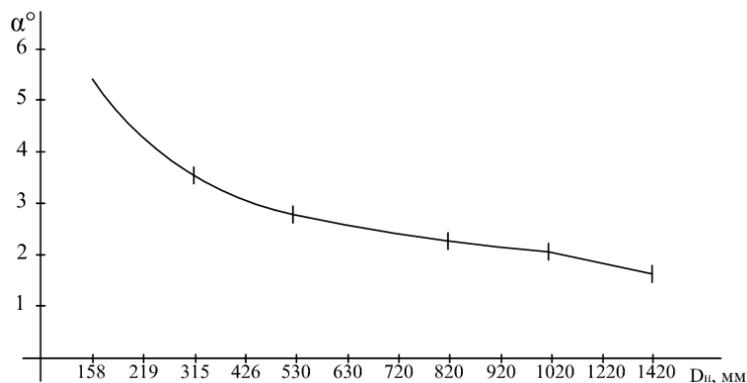


Рисунок 1 – Зв'язок діаметра труб із кутами нахилу місцевості

На рис. 1 описується зв'язок максимальних кутів нахилу місцевості, на переломах профілю якої можливе паралельне укладання трубопроводів до земної поверхні, з діаметром труб [9]. З графіка видно, що трубопроводи умовним діаметром до 400 мм включно можуть копіювати досить пересічений рельєф із чергуванням протилежних ухилів у 3...5°.

Зі зменшенням довжини трубопроводів вплив рельєфу на гідравлічну роботу збільшується. Для коротких трубопроводів напір на подолання тертя дорівнює напору на подолання різниці висот. Необхідну точність лінійних геодезичних вимірювань наведено в табл.1 [9].

Таблиця 1 – Необхідна точність лінійних геодезичних вимірювань

Довжина трубопроводів L, км	Точність лінійних вимірювань	Точність визначення глибини закладання трубопроводів, м
10–20	1:70	2,0
5–10		1,2
2–5		0,6
до 2		0,3

Оптимальним є профіль траси прокладання, що задовольняє вимоги міцності та стійкості підземного трубопроводу. Форма його обумовлюється профілем земної поверхні й радіусами вигину труб, підібраними з умов прилягання трубопроводу до дна траншеї та міцності метала на згин. Радіус вигину за нормами [5]

$$R = \sqrt[3]{\frac{384EI(1 - \cos(\beta/2))}{5g\beta^4}}, \quad (7)$$

де I – момент інерції перерізу труби, см^4 ; g – вага 1 см труби; β – кут повороту трубопроводу у вертикальній площині: в чисельнику – в градусах, у знаменнику – в радіанах.

Також радіус вигину можна виразити як

$$R = \sqrt[3]{\frac{6ED_{\text{зовн.}}^2}{5\gamma\beta^2}}, \quad (8)$$

де γ – об'ємна вага сталі, $\gamma = 7,85 \cdot 10^{-3} \text{кг/см}^3$. Під дією власної ваги трубопровід із зміною кута β змінює радіус кривизни, ніби слідує за рельєфом місцевості. Однак за умовами міцності радіус вигину не повинний бути меншим від величини

$$R = \frac{ED_{\text{зовн.}}}{2\sigma_{\text{зг.}}} \quad (9)$$

Прирівнявши вирази (8) та (9), знайдемо максимальний кут повороту, на який може прогнутися трубопровід з умов міцності та прилягання,

$$\beta = \sqrt{\frac{48\sigma_{\text{позд.зг.}}^3}{5\gamma E^2 D_{\text{зовн.}}}} \quad (10)$$

Розглянуті допустимі похибки нормативно встановлюють значення граничних відхилень конкретних величин, котрі за своєю суттю мають статистичний характер. Результатом проведення вимірювань фактичних величин є отримання їх значень лише з певною забезпеченістю. Таким чином, при порівнянні практично встановленого відхилення з допустимим безпосередньо виконується процес оцінювання надійності за цим окремим параметром системи трубопроводу. Наприклад, якщо відхилення вимірної позначки дна траншеї становить 0,05 м, а допуск складає 0,1 м, то вважається, що ця характеристика є забезпеченою.

Послідовне встановлення відповідності наявних відхилень допустимим значенням для кожного з параметрів трубопроводу вважають на практиці орієнтовною оцінкою його надійності в цілому. Проте такий розгляд задачі переходу від надійності окремої стохастичної характеристики до надійності системи в цілому не враховує взаємний вплив цих параметрів на кінцевий результат. Отже, існуючий підхід не можна вважати оцінкою дійсної надійності магістрального трубопроводу.

Висновки. Проаналізована система допусків, яка використовується при будівництві магістральних трубопроводів, не враховує взаємний вплив окремих стохастичних параметрів на загальний висновок про безвідмовність системи. Урахування такого впливу можливе методами теорій надійності, що дозволяють використовувати додаткові резерви конструкції трубопроводу.

Література

1. Айбиндер, А.Б. Расчет магистральных и промысловых трубопроводов на прочность и устойчивость: справочное пособие / А.Б. Айбиндер. – М.: Недра, 1991. – 287 с.
2. Белоусов, В.Д. Технологический расчет магистральных нефтепроводов: учебное пособие / В.Д. Белоусов – М.: Изд-во МИНГ им. И. М. Губкина, 1970. – 70 с.
3. Коршаков, А.А. Основы нефтяного и газового дела. Проектирование, сооружение и эксплуатация газонефтепроводов и газонефтехранилищ: учеб. пособие / А.А. Коршаков, А.М. Шаммазов – М.: Изд-во УГНТУ, 1999. – 265 с.
4. Нечваль, А.М. Проектирование нефтегазопроводов / А.М. Нечваль. – Уфа, 2003. – 264 с.

5. СНиП 2.01.06-85. Магистральные трубопроводы / Госстрой СССР. – М.: ЦИТП Госстроя СССР, 1988. – 52 с.
6. СНиП 23-01-99. Строительная климатология / Госстрой СССР. – М.: ЦИТП Госстроя СССР, 1999. – 67 с.
7. СНиП III-42-80*. Магистральные трубопроводы. Правила производства и приёмки работ, 1997. – 74 с.
8. Таран, В.П. Сооружение магистральных трубопроводов / В.П. Таран. – М.: Недра, 1964. – 242 с.
9. Хохлов, Г.П. Исследование точности и методики геодезических работ при изысканиях трубопроводов в сельскохозяйственных районах: автореф. дис. канд.тех.наук : спец. 05.24.01 / Г.П. Хохлов. – К.: КИСИ, 1977. – 15 с.

Надійшла до редакції 11.04. 2011

© С.Ф. Пічугін, О.Є. Зима, Т.М. Нездойминога, О.Г. Хохлов

ВЛИЯНИЕ ДОПУСКОВ ПРИ СТРОИТЕЛЬСТВЕ НА НАДЕЖНОСТЬ МАГИСТРАЛЬНЫХ ТРУБОПРОВОДОВ

Проанализирована система допусков при строительстве линейной части магистральных трубопроводов. Показано, что оценка величины отклонений зависит не только от погрешности строительных работ, но и от погрешностей измерений. Рассмотрен вопрос влияния допусков на надежность магистральных трубопроводов.

Ключевые слова: магистральный трубопровод, надежность, допуски измерений, геодезические измерения.

INTRODUCTION TOLERANCE FOR RELIABILITY OF THE MAIN PIPELINE BUILDING

Tolerance system in the construction of the linear part of the main pipelines was analyzed. An estimate of the deviation depends not only on the error in construction, but also from measurement errors. Question of the tolerances impact on the reliability of main pipelines was considered.

Key words: main pipeline, reliability, tolerances of measurement, geodetic measurements.