

ЧИСЕЛЬНЕ МОДЕЛЮВАННЯ НАПРУЖЕНО-ДЕФОРМОВАНОГО СТАНУ ГИБІВ ТРУБОПРОВІДІВ

Трубачев С.І., Колодежний В.А.

Національний технічний університет України
«Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського»

В роботі розглянута класифікація трубопроводів, їх призначення та розрахунок на міцність з урахуванням гибів. Розрахунки проводились за допомогою програмного комплексу ANSYS Student Edition, що базується на використанні метода скінченних елементів. Представлені розрахунки елементів трубопроводів з урахуванням реальних умов експлуатації.

Ключові слова: трубопроводи, напружено-деформований стан, скінченно-елементна модель, чисельне моделювання.

Постановка проблеми. В зв'язку з широким використанням різного виду трубопроводів виникає задача чисельного моделювання напружено-деформованого стану даних конструкцій з урахуванням гибів. Окрім того необхідно враховувати різні матеріали, з яких виготовляються сучасні трубопроводи. Успішне вирішення цієї проблеми неможливе без застосування чисельних методів розрахунку та сучасної обчислювальної техніки.

Аналіз останніх досліджень і публікацій показує, що в основному досліджувались трубопроводи за допомогою аналітичних методик та спрощених моделей розрахунку.

Викладення не вирішених раніше частин загальної проблеми в літературі недостатньо приділяється увага чисельному моделюванню гибів трубопроводів з урахуванням різного виду гибів.

Метою статті є розробка методики розрахунку напружено-деформованого стану гибів трубопроводів та побудови алгоритму чисельного моделювання трубопроводів з гибокми.

Трубопроводи знайшли широке застосування в промисловості для транспортування різних рідких, газоподібних і сипучих речовин. Основні види трубопроводів можна класифікувати таким чином:

1. Магістральні (газопроводи, нафтопроводи, водопроводи);

2. Міські комунально-мережні (водопровід, газові мережі, теплові та каналізаційні мережі);

3. Технологічні (внутрізаводські, міжцехові, цехові, машинні).

В залежності від транспортного середовища застосовуються терміни: газопровід, водопровід, паропровід, нафтопровід, маслопровід, бензопровід та тому подібне. Основними загальними параметрами трубопроводу і арматури є умовний діаметр проходу, умовний тиск і робоча температура середовища. Розрізняють робочий тиск і пробний тиск.

В залежності від тиску трубопроводи поділяються на вакуумні, що працюють при абсолютному тиску менше 0,1 МПа, низького тиску – від 0,1 до 1,5 МПа, середнього тиску – від 1,5 до 10 МПа. Технологічні трубопроводи вважаються холодними, якщо вони працюють при середовищі, яке має робочу температуру менше 50° С, та гарячими, якщо температура робочого середовища більше 50° С.

За матеріалом виготовлення всі труби від малого до великого діаметру можна розподілити на дві основні групи: металеві та неметалеві. Також, у зв'язку з великою сферою застосування і різноманітністю діаметрів труб, існує багато інших класифікацій, наприклад, за формою перерізу труби (звичайна або профільна), за способом виробництва (безшовні, литі, зварні), за кількістю

використаних шарів (одношарові або багатошарові), а також за призначенням (загального і спеціального призначення).

Металеві труби можна розбити на три основні групи: сталеві, чавунні та мідні. До недоліків сталевих труб можна віднести їх малий строк служби, досить високу теплопровідність. До недоліків чавунних труб відноситься велика маса, крихкість та невелика довжина відрізків, але вони більш стійкі до корозії, мають низьку теплопровідність та собівартість. Мідні труби мають великий набір переваг, але їх собівартість дуже велика. Неметалеві труби включають велику кількість видів матеріалу – керамічні, азбестоцементні, полімерні та інші. Полімерні труби мають дуже хороші характеристики – це невелика маса, низька собівартість. Такі труби можна випускати великими відрізками.

У зв'язку із великою різноманітністю трубопроводів їх розрахунок на міцність, жорсткість і стійкість при проектуванні з урахуванням реальних умов експлуатації є актуальною проблемою. Слід підкреслити, що у теперішній час небагато наукових робіт присвячено розрахунку трубопроводів з урахуванням гибів на основі тримірних моделей або у точній постановці задачі. Розрахунки трубопроводів як стержневих систем виконуються без урахування розподілення напружень в місцях закріплення трубопроводів або в місцях, де існують концентратори напружень, тому не завжди дають достовірні результати. Це пов'язано, насамперед, із складністю математичної постановки задачі. Щоб врахувати усі ці фактори, необхідно застосувати чисельні методи розрахунку на основі варіаційно-сіткових підходів. В даній роботі пропонується розрахунок трубопроводів з урахуванням гибів, заснований на використанні метода скінчених елементів.

Розв'язок прикладних задач чисельними методами будується шляхом зведення заданої континуальної задачі до скінченновимірної. Для цього нескінченновимірний простір допустимих функцій замінюють скінченновимірним $V_b \subset V$. Для побудови скінченновимірного простору V_b застосовується спосіб, в якому за базисні функції приймають функції з кінцевим малим носієм, кожна з яких тільки в порівняно невеликій (порядку кроку сітки b) околиці відмінна від нуля, а зовні тотожно дорівнює нулю [1]. Для їх побудови за допомогою сітки здійснюється дискретизація області Ω , що займається тілом, на скінченне число підобластей Ω_n . На об'єднанні підобластей Ω_n , що примикають до кожного вузла сітки, будується базисна функція з кінцевим малим носієм, яка являє собою многочлен на кожній підобласті Ω_n . Всі лінійно незалежні функції такого виду приймаються за базисні.

При побудові скінченновимірних просторів V_b [2] використовуються кусочнополіноміальні функції, при цьому множина Ω представляється у вигляді об'єднання Ω_n трикутників [3], що не перетинаються. Коефіцієнти полінома в кожному трикутнику вибирають таким чином, щоб забезпечити потрібну гладкість, а також однозначне визначення полінома з умов, що забезпечують належність наближеного рішення до простору V . Нехай $\{\varphi_i(x)\}_{i=1}^N$ – система базисних функцій,

i -й член якої приймає в i -му вузлі значення, що дорівнює одиниці, а в інших вузлах сітки обертається в нуль.

Тоді функція v_b може бути представлена у вигляді

$$v_b = \sum_{i=1}^N v_i \varphi_i(x) \quad (1)$$

Лінійна комбінація (1) визначає функцію $v_b \in V_b$ на всю область Ω за її вузловими значеннями. Від вибору сітки та системи базисних функцій залежать вид та властивості утвореної варіаційно-сіткової схеми для даної задачі.

При побудові варіаційно-сіткових схем функціонал потенціальної енергії системи на скінченновимірному просторі допустимих функцій V_b має вигляд

$$F(\vec{v}) = \frac{1}{2}(C\vec{v}, \vec{v}) - (\vec{f}, \vec{v}) \quad (2)$$

де C – матриця жорсткості, f – вектор вузлових навантажень.

Варіаційна задача вирішується наближено. Найбільш часто використовується підхід, який оснований на використанні необхідної умови мінімуму функціоналу (2). Тоді виникає задача розв'язку системи лінійних алгебраїчних рівнянь високого порядку:

$$C\vec{v} = \vec{f} \quad (3)$$

Тобто ми приходимо до звичайного застосування методу скінчених елементів [4].

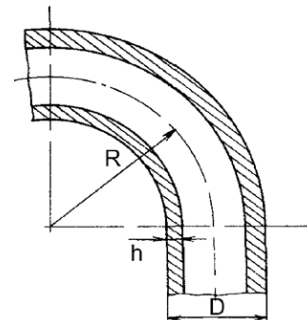


Рис. 1. Схема гнута

Джерело: розроблено авторами

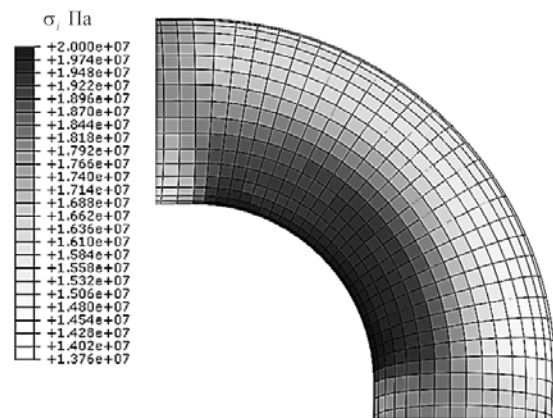


Рис. 2. Розподіл напружень в гнбї

Джерело: розроблено авторами

Розглянемо вигиб трубопроводу, який навантажений внутрішнім тиском $1,2 \cdot 10^6$ Па (рис. 1).

Основними параметрами гйбу є: радіус гйбу R , діаметр труби D , товщина стінки h . Під час розрахунку використовувалась модель сталевї труби з модулем Юнга $E = 2 \cdot 10^{11}$ Па, коефіцієнтом Пуассона $\nu = 0,3$, щільністю $\rho = 7800$ кг/м³. Діаметр труби дорівнює 220 мм, товщина стінки – 7 мм. Розрахунок проводився з використанням комплексу ANSYS Student Edition [1, 5].

Як видно із рис. 2, розподіл полів напружень має суттєво неоднорідний характер. Концентрація

напружень відбувається на внутрішній частині поверхні труби в місці її найбільшої кривизни.

Висновки. В роботі запропоновані методика розрахунку та алгоритм чисельного моделювання напружено-деформованого стану трубопроводів, оснований на застосуванні метода скінченних елементів. Це дозволяє проаналізувати міцність трубопроводів з урахуванням гйбів та реальних умов експлуатації, що в свою чергу є необхідним на етапі проектування для забезпечення міцності та надійності конструкцій.

Список літератури:

1. Марчук Г. И., Агошков В. И. Введение в проекционно-сеточные методы. – М.: Наука, 1981. – 416 с.
2. Трубачев С. І. Розрахунок багатошарових фотоелектричних модулів сонячних батарей / С. І. Трубачев, В. А. Колодежний // Молодий вчений. – 2017. – № 3(43). – С. 761-763. [Електронний ресурс] / Режим доступу: <http://molodyvcheny.in.ua/files/journal/2017/3/174.pdf>.
3. Яхно Б. О. Stress-strain state of the cylindrical walled perforated shells / Б. О. Яхно, С. І. Трубачев // Journal of Mechanical Engineering NTUU «Kyiv Polytechnic Institute». – 2013. – Випуск 67. – С. 126-130.
4. Зенкевич О. Метод конечных элементов в технике. – М.: Мир, 1975. – 541 с.
5. FKM-Guideline, Analytical Strength Assesment of Components in Mechanical Engineering, 5th, revised edition, English Version, Forschungskuratorium Maschinenbau (FKM), Frankfurt/Main, 2003. – 268 с.

Трубачев С.И., Колодежний В.А.

Национальный технический университет Украины
«Киевский политехнический институт имени Игоря Сикорского»

ЧИСЛЕННОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ НАПРЯЖЕННО-ДЕФОРМИРОВАННОГО СОСТОЯНИЯ ГИБОВ ТРУБОПРОВОДОВ

Аннотация

В работе рассмотрена классификация трубопроводов, их назначение и расчет на прочность с учетом гйбов. Расчеты проводились с помощью программного комплекса ANSYS Student Edition, который базируется на использовании метода конечных элементов. Представлены расчеты элементов трубопроводов с учетом реальных условий эксплуатации.

Ключевые слова: трубопроводы, напряженно-деформированное состояние, конечно-элементная модель, численное моделирование.

Trubachev S.I., Kolodezhnyi V.A.

National Technical University of Ukraine
«Kyiv Polytechnic Institute named after Igor Sikorsky»

NUMERICAL SIMULATION OF STRESS-DEFORMED STATE OF PIPELINE HYBITIKS

Summary

The paper considers the classification of pipelines, their designation and calculation for strength with allowance for bends. Calculations were carried out using the ANSYS Student Edition software package, which is based on the use of the finite element method. Calculations of pipeline components taking into account actual operating conditions are presented.

Keywords: pipelines, stress-strain state, finite-element model, numerical simulation.