

УДК 621.643.002:622.692.4

**Є.Й. Ріпецький, докт. техн. наук, доц., Р.Й. Ріпецький, канд. техн. наук, доц.,
О.Ю. Коробков аспірант**

Івано-Франківський національний технічний університет нафти і газу, Україна

РОЗКРИТТЯ СТАТИЧНОЇ-НЕВИЗНАЧЕНОСТІ ВИСЯЧИХ ГАЗОПРОВОДІВ ЗА ДОСВІДОМ РОЗРАХУНКУ НЕСУЧИХ РАМНИХ КОНСТРУКЦІЙ

**E. Ripetskyi, Dr., Assoc. Prof., R. Ripetskyi, PhD., Assoc. Prof., O. Korobkov
REVEALING STATICALLY INDETERMINATE OF HANGING GAS PIPELINES
BASED ON THE EXPERIENCE OF CALCULATING LOAD-BEARING FRAME
STRUCTURES**

Трубопроводи – особливий вид транспортних систем, що проявляється у поєднанні в одній конструкції несучої частини та транспортного шляху. Як правило, трубопроводи пролягають під землею, але для подолання природних перешкод їх виводять на поверхню землі. В цьому випадку використовують конструкції різноманітних надземних переходів.

Ділянки надземних переходів є потенційно небезпечними, так як до дії природних факторів відкритого середовища додається навантаження від зовнішніх силових факторів. Такі трубопроводи однозначно є статично невизначені. Тому розрахунок НДС трубопроводу потребує у більшості випадків розкриття статичної невизначеності.

Метою роботи є аналіз методичних підходів до розкриття статично-невизначених систем прольотних конструкцій та їх адаптація до розрахунку висячих газопроводів.

Об'єктом дослідження є газопровід Угерсько – Івано-Франківськ, на ділянці надземного переходу через р. Свіча. На цій ділянці газопровід підвішений у повітрі до системи канатів. Одинадцять утримуючих канатів рівномірно розміщені на довжині прольоту 130 м.

Розрахункова схема висячого газопроводу зведена до балки на двох опорах з рівномірно-розподіленим навантаженням, до якої прикладені з певним інтервалом зосереджені сили від підвісної канатної системи. В результаті отримано статично-визначену прольотну конструкцію.

Зведення схеми розміщення трубопроводу до прольотної конструкції дозволяє провести аналогію з іншими галузями, зокрема поздовжніми лонжеронами рамних несучих систем в мобільних машинах.

Основна складність розрахунку несучих рамних систем є їх статична невизначеність. Рамні несучі системи мають 6-10 разів ступінь статичної невизначеності. Для їх розкриття дослідники пропонують використовувати принцип мінімуму потенціальної енергії деформації [1].

Традиційним підходом є отримання необхідної кількості додаткових рівнянь з невідомими внутрішніми силовими факторами. Отримані рівняння встановлюють зв'язок між зовнішнім навантаженням, яке переважно відоме за експериментальними даними, та внутрішніми силовими факторами елементів несучої системи.

Іншим підходом використання методу є формування функціоналу потенціальної енергії, у вираз якого входить у тому числі всі невідомі силові фактори. Далі, в межах факторного простору за ітераційним циклом ведеться пошук невідомих силових факторів за критерієм мінімуму потенціальної енергії деформації. Знайдений точці мінімуму функціоналу буде відповідати набір внутрішніх силових факторів.

Можливість використання функціонала потенціальної енергії для розкриття

статичної невизначеності було показано на прикладі двох поздовжніх елементів лонжерона рамної конструкції. Пошук точки мінімуму здійснювався градієнтним методом, який засвідчив свою стійкість до наближення з кожним кроком ітерації.

Таким чином, алгоритм розкриття статичної невизначеності поздовжніх лонжеронів рамних конструкцій здійснюється за схемою зворотного зв'язку.

Ідея використання алгоритму зі зворотнім зв'язком для мінімізації функціоналу при розкритті статичної невизначеності може бути корисна для розрахунку напружено-деформованого стану висячих газопроводів. Методологія побудови структурної схеми алгоритму пошуку з наявним зворотнім зв'язком дозволяє створити аналогічні методи знаходження силових факторів для розкриття статично-невизначеної системи газопроводів.

Однак, в даному випадку мінімізація виразу потенціальної енергії не може бути проведена у зв'язку із неможливістю відтворити зворотній зв'язок, так як газопровід складається із одного несучого елемента.

Натомість газопроводи можуть мати досить важливу інформацію. Деформаційні процеси трубопроводів відрізняються від лонжеронів рамних конструкцій мобільних машин. Так, максимальна величина прогину трубопроводу на середині прольоту становить 0,25-0,30 м. Тобто, такі деформації видно візуально, вони можуть бути виміряні з відносно малою похибкою. Для таких вимірів використовують різноманітні геодезичні методи: тахеометрична зйомка, нівелювання та ін. [2].

Така інформація є корисною для складання системи рівнянь канатної підвіски за умови її рівноваги. Якщо кількість утримуючих канатів становить n , то тоді рівнянь рівноваги можна скласти $n-1$. Розв'язком системи рівнянь рівноваги канатної підвіски вважатиме аналітичні виразити зусиль в утримуючих канатах P_i через одну невідому T_1 силу натягу основного канату в точці її кріплення до опори. Тобто матиме ряд залежностей типу $P_i=f(T_1)$. Це в свою чергу означатиме, що замість n невідомих матиме всього лиш одну невідому, а решта зусиль стають її похідними функціями.

Таким чином, висячий газопровід перетворюється з n -статично невизначеної системи в один раз статично-невизначену. Розкриття статичної невизначеності висячого газопроводу значно спрощується: замість пошуку n невідомих факторів потрібно шукати всього лиш один.

Зворотній зв'язок досягається використанням критерія мінімізації середньоквадратичних відхилень між експериментальними даними Δ_i і теоретичним набором f_i , які підраховані шляхом варіювання параметра T_1

$$\sigma = \sqrt{\sum_{i=1}^n (f_i - \Delta_i)^2} \rightarrow \min. \quad (1)$$

За процедурою пошуку, згідно (1), встановлюється значення параметра T_1 , а також всі зусилля в утримуючих канатах. Це означає, що статична невизначеність висячого газопроводу розкрита, що дозволяє перейти до аналізу його напружено-деформованого стану.

Література

1. Рибак Т.І. Пошукове конструювання на базі оптимізації ресурсу мобільних сільськогосподарських машин: Монографія/ Рибак Т.І. – Тернопіль: Збруч, 2002 – 332 с.
2. Тревого І.С. Геодезичний контроль деформацій споруд магістральних газопроводів: монографія / І.С. Тревого, Є.Ю. Ільків, Д.В. Кухтар – Івано-Франківськ: ІФНТУНГ, 2022 – 351 с.
3. Ripetskyi E., Adaptation of Energy Methods to Automated Calculation of Mobile Machines Frame Constructions/ E. Ripetskyi, R. Ripetskyi, M.Pidgurskyi, I.Pidgurskyi, O.Korobkov. – Physics and Chemistry of Solid State, Vol. 22 No. 2. 2021. – С. 292–299.