

Технічні науки

УДК 622.691.4

Григорський Станіслав Ярославович

кандидат технічних наук, доцент,

доцент кафедри газонафтопроводів та газонафтоосховищ

Івано-Франківський національний технічний університет нафти і газу

Hryhorskyi Stanislav

PhD, Associate Professor,

Associate Professor of the Department of

Transportation and Storage of Energy Carriers

Ivano-Frankivsk National Technical University of Oil and Gas

Миколюк Тарас Ігорович

здобувач вищої освіти інституту нафтогазової інженерії

Івано-Франківського національного технічного університету нафти і газу

Mykoliuk Taras

Graduate of the Institute of Oil and Gas Engineering

Ivano-Frankivsk National Technical University of Oil and Gas

**ДОСЛІДЖЕННЯ ВПЛИВУ ЧИСЛА НИТОК ТА ДОВЖИНИ
ЛУПІНГА НА ЗМІНУ ПРОПУСКНОЇ ЗДАТНОСТІ ГАЗОПРОВОДУ
RESEARCH OF THE INFLUENCE OF THE NUMBER OF THREADS
AND THE LENGTH OF THE LOOP ON THE CHANGE OF THE GAS
PIPELINE CAPACITY**

Анотація. Вирішено наукову задачу щодо знаходження оптимальної довжини лупінга для максимального збільшення пропускної здатності складного газопроводу з паралельними нитками однакового діаметру за умови відкриття усіх перемичок. З використанням методу коефіцієнтів витрат визначено зміну пропускної здатності багатониткового магістрального газопроводу у випадку всіх відкритих та закритих

перемичок та наявності лупінга в кінці однієї з ділянок. Встановлено, що для кількості паралельних ниток, яка не перевищує чотирьох, оптимальна довжина лупінга буде становити $2/3$ від геометричної довжини ділянок.

Ключові слова: складний газопровід, перемичка, лупінг, метод коефіцієнтів витрат, пропускна здатність.

Summary. The scientific problem of finding the optimal length of loop to maximize the throughput of a complex gas pipeline with parallel threads of the same diameter, provided that all bridges are opened, has been solved. Using the method of cost coefficients, the change in the capacity of the multi-thread main gas pipeline was determined in the case of all open and closed bridges and the presence of loop at the end of one of the sections. It was established that for the number of parallel threads, which does not exceed four, the optimal loop length will be $2/3$ of the geometric length of the sections.

Key words: complex gas pipeline, bridge, loop, method of flow coefficients, throughput.

При транспортуванні газу по двох та більше нитках магістрального газопроводу передбачається встановлення перемичок, які з'єднують між собою паралельні лінії. Перемички будуються на відстанях 20-30 км біля лінійних кранів, а також на вході і виході компресорних станцій (біля так званих охоронних кранів) [1]. Основна мета використання перемичок полягає у забезпеченні мінімального зниження пропускної здатності багатониткового газопроводу у випадку аварії чи ремонту на одній з ниток та відповідного збільшення надійності газопостачання. Таким чином, ізолюється тільки ділянка між двома сусідніми перемичками, де відбулась аварійна ситуація чи проводиться ремонт. Транспорт газу буде здійснюватися по решті ділянок, що з'єднуються перемичками з паралельними лініями.

Перемички можуть суттєво впливати на пропускну здатність багатониткового газопроводу, якщо вони розташовані в місцях підключення лупінга або в місцях, де змінюється діаметр трубопроводу [1]. Зазвичай, для газопроводів із рівнинним профілем траси (при відсутності двох перерізів на профілі траси з різницею геодезичних висот більшою за 100 м [2]) перерозподіл потоків газу буде збільшувати комерційну продуктивність газопроводу.

Лупінгом називається ділянка газопроводу, що прокладається паралельно основній ділянці з метою збільшення пропускну здатності газопроводу, збільшення тиску газу на вході в наступну КС та підвищення надійності газопостачання [3]. При цьому довжина лупінга (обвідного газопроводу) є меншою за довжину основної ділянки газопроводу.

Розглянемо задачу про визначення зміни пропускну здатності багатониткового газопроводу з лупінгом на одній із ділянок у випадку всіх відкритих та закритих перемичок.

Нехай трубопровід складається з n паралельних ниток і в кінці однієї з ділянок є лупінг довжиною l . Усі трубопроводи мають однаковий внутрішній діаметр d та геометричну довжину L . Профіль траси рівнинний.

Для визначення зміни пропускну здатності складного газопроводу використаємо метод коефіцієнтів витрат [3].

Приймаємо, що еталонний діаметр дорівнює діаметру паралельних ниток $d_{em} = d$, тоді відповідні коефіцієнти витрати дорівнюють одиниці

$$K_1 = K_2 = \dots = K_{n-1} = K_n = 1. \quad (1)$$

Визначаємо коефіцієнт витрати газопроводу у випадку всіх закритих перемичок

$$K_{закр} = 1 \cdot (n-1) + \sqrt{\frac{L}{\frac{L-l}{1^2} + \frac{l}{(1+1)^2}}}. \quad (2)$$

Ввівши позначення відносної довжини лупінга

$$x = \frac{l}{L}, \quad 0 < x < 1, \quad (3)$$

звідки після математичних перетворень з виразу (2) отримаємо

$$K_{закр} = n - 1 + \frac{1}{\sqrt{1 - \frac{3}{4} \cdot x}}. \quad (4)$$

Далі визначаємо коефіцієнт витрати газопроводу у випадку всіх відкритих перемичок

$$K_{відкр} = \sqrt{\frac{L}{\frac{L-l}{(n \cdot 1)^2} + \frac{l}{[(n+1) \cdot 1]^2}}} = \frac{n}{\sqrt{1-x \cdot \left[1 - \left(\frac{n}{n+1}\right)^2\right]}}. \quad (5)$$

Відношення комерційних продуктивностей складного газопроводу за усіх відкритих $Q_{відкр}$ та усіх закритих перемичок $Q_{закр}$ становить

$$\chi = \frac{Q_{відкр}}{Q_{закр}} = \frac{K_{відкр}}{K_{закр}} = \frac{n}{\sqrt{1-x \cdot \left[1 - \left(\frac{n}{n+1}\right)^2\right]}} \cdot \frac{1}{n-1 + \frac{1}{\sqrt{1 - \frac{3}{4} \cdot x}}}. \quad (6)$$

Для знаходження відносної довжини лупінга, за якої досягається максимальне збільшення пропускної здатності, знаходимо часткову похідну

$$\frac{\partial \chi}{\partial x} = \frac{\chi^2}{2 \cdot n} \cdot \frac{(2 \cdot n + 1) \cdot (n - 1)}{(n + 1)^2} \cdot \frac{\frac{3 \cdot n + 1}{4 \cdot (2 \cdot n + 1)} - \left(1 - \frac{3}{4} \cdot x\right)^{\frac{3}{2}}}{\left(1 - \frac{3}{4} \cdot x\right)^{\frac{3}{2}} \cdot \sqrt{1-x \cdot \left[1 - \left(\frac{n}{n+1}\right)^2\right]}}. \quad (7)$$

З умови $(\partial \chi / \partial x)|_{x=x_{opt}} = 0$, знаходимо оптимальну довжину лупінга

$$l_{opt} = x_{opt} \cdot L = \frac{4 \cdot L}{3} \cdot \left(1 - \sqrt[3]{\frac{3 \cdot n + 1}{4 \cdot (2 \cdot n + 1)}}\right). \quad (8)$$

У випадку, коли $n \rightarrow \infty$

$$l_{opt} = \frac{4 \cdot L}{3} \cdot \left(1 - \frac{\sqrt[3]{9}}{4}\right) \approx 0,64 \cdot L. \quad (9)$$

Графічна інтерпретація отриманих результатів наведена на рис. 1.

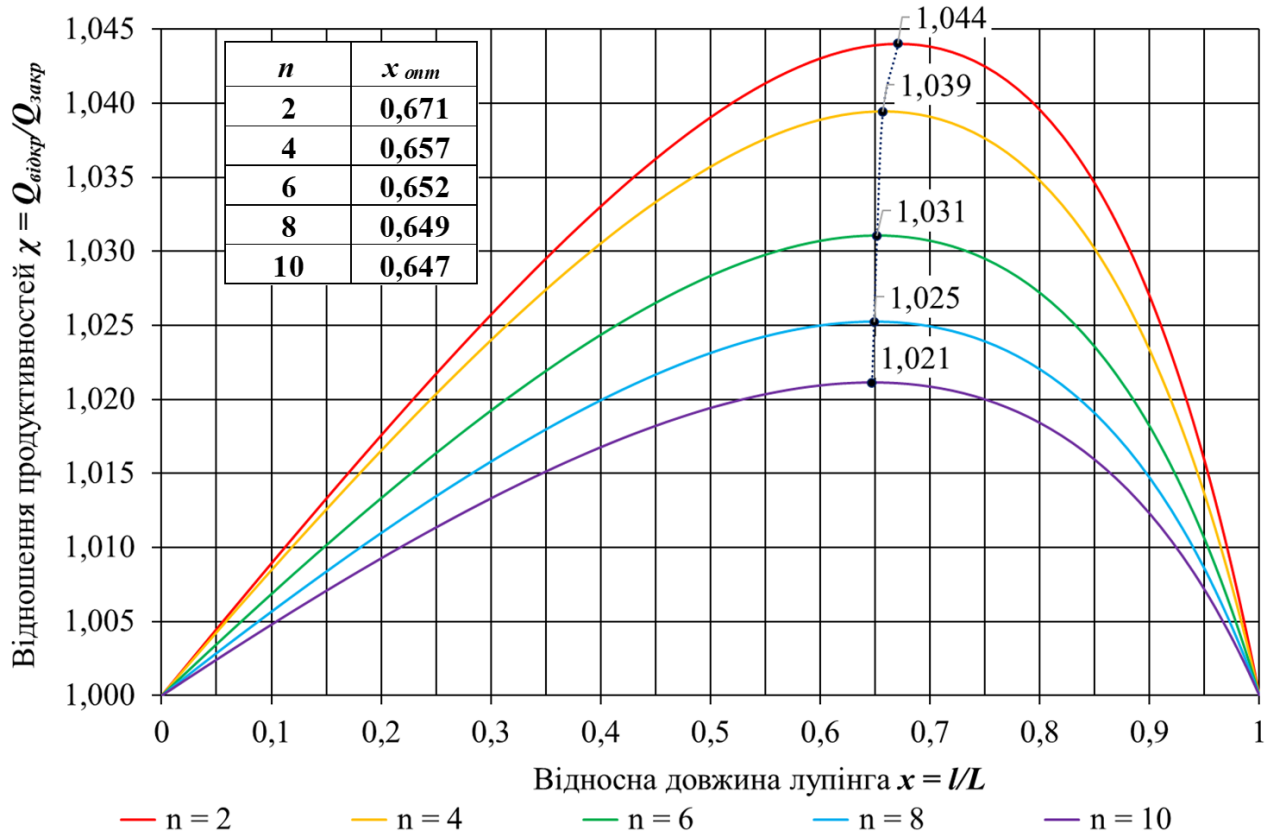


Рис. 1. Залежність зміни відношення продуктивностей складного газопроводу за всіх відкритих та закритих перемичок від відносної довжини лупінга та кількості паралельних ниток

Для двох паралельних ниток газопроводу оптимальна довжина лупінга дорівнює 67 % від довжини лінійних ділянок. При цьому за умови відкриття усіх перемичок пропускна здатність збільшиться на 44 % в порівнянні із режимом, коли перемички будуть закритими. Для чотирьох паралельних ниток газопроводу довжина лупінга зміниться незначно відносно попереднього випадку (66 % від довжини ділянки), але максимальне збільшення пропускної здатності за відкритих перемичок становитиме 31 %.

Висновки.

1. Встановлено, що максимальна ефективність перемички відповідає відносній довжині лупінга, що становить 64-67 % залежно від кількості паралельних ниток.

2. Збільшення числа ниток супроводжується зниженням ефективності перемички за одночасного зменшення відносної величини зміни пропускної здатності складного газопроводу.

3. Отримані результати можуть бути використані на практиці при збільшенні пропускної здатності існуючих газопроводів з паралельними нитками для випадку переходу на газопроводні суміші.

Література

1. Сусак О. М., Касперович В. К., Андріішин М. П. Трубопровідний транспорт газу [Текст]: підручник. Івано-Франківськ: ІФНТУНГ, 2013. 345 с.

2. Трубопровідний транспорт газу / [М. П. Ковалко, В. Я. Грудз, В. Б. Михалків та ін.]: за ред. М. П. Ковалка. К.: АренаЕКО, 2002. 600 с.

3. Григорський С. Я. Розрахунок усталених та неусталених режимів експлуатації газопроводів: [конспект лекцій]. Івано-Франківськ: ІФНТУНГ, 2021. 128 с.