

А.Г. ВИННИЧУК, к.т.н., доцент

Я.І. ГРИШ, студент 1-го курсу магістратури

Івано-Франківський національний технічний університет нафти і газу, м. Івано-Франківськ

Математичне моделювання втрат тиску в трубопроводах із розробленням програмного забезпечення

Обґрунтована актуальність розроблення програмного забезпечення моделювання втрат тиску в трубопроводах. Проаналізовані закономірності втрат тиску в трубопроводах. Розроблено програмне забезпечення для моделювання втрат тиску в трубопроводах. Здійснене підтвердження адекватності застосування розробленого програмного забезпечення.

Постановка проблеми

Головним завданням при розрахунку трубопроводів є визначення загального перепаду тиску на робочій ділянці з подальшим обчисленням потужності, необхідної для транспортування енергоносіїв. Гідрравлічний розрахунок трубопроводу досить складний. Виконання його вручну занадто багато роботи і займає тривалий час, тому доцільним є створення програмного забезпечення для гідрравлічного розрахунку трубопроводу.

Аналіз основних досліджень та публікацій

Аналіз літературних джерел показав, що відомі функціональні залежності зміни параметрів природного газу стосуються перш за все питань проектування систем газопостачання населених пунктів [1] або трубопроводного транспортування газу взагалі [2].

Відома наукова праця [3], в якій розглядаються прикладні питання вивчення гідродинамічних процесів в еталонних витратомірювальних установках. Наведені в ній залежності і результати розрахунків стосуються втрат тиску для різних видів місцевих опорів (згин, розширення або звуження, переходи при зміні діаметра труби).

Гідрравлічний розрахунок трубопроводних мереж досить складний. Виконання його вручну вимагає занадто багато роботи і займає тривалий час, тому доцільним є створення програмного забезпечення для гідрравлічного розрахунку трубопроводу яке значно спростить виконання цього завдання.

Тому доцільним є розроблення програмного забезпечення для моделювання втрат тиску в трубопроводах. Крім того, необхідним є розроблення узагальнених закономірностей для різних діапазонів чисел Рейнольдса з урахуванням ламінарного, перехідного і турбулентного режимів потоку газу.

Формування мети дослідження

Реалізація поставленого завдання зводиться до розроблення програмного забезпечення для моделювання втрат в трубопроводних мережах.

Виклад основного матеріалу

Для побудови математичної моделі, що лягла в основу розробленого програмного забезпечення було проаналізовані закономірності втрат тиску в трубопроводах. Зокрема, теоретичний аналіз залежностей втрат тиску газу за умов наявності в трубопроводі ламінарного, перехідного і турбулентного режимів течії. При цьому використовувалися відомі апроксимаційні залежності [4] для різних видів гідрравлічних опорів.

Втрати тиску на тертя в трубі $\Delta p_{тр}$ можна визначити за формулою [4]:

$$\Delta p_{тр} = \lambda_{мп} \frac{l}{D} \cdot \frac{\rho v^2}{2}, \quad (1)$$

де l — довжина досліджуваної ділянки труби, D — внутрішній діаметр труби, ρ — густина робочого середовища, v — швидкість руху робочого середовища, $\lambda_{мп}$ — коефіцієнт опору одиниці відносної довжини ділянки труби.

Значення коефіцієнта $\lambda_{мп}$ залежить від числа Рейнольдса Re , шорсткості внутрішніх стінок труби Δ і внутрішнього діаметра D труби наступним чином [4]:

$$\lambda_{мп} = \begin{cases} \frac{64}{Re} & \text{при } Re \leq 2000, \\ \frac{1}{(1,8 \lg Re - 1,64)^2} & \text{при } 2000 < Re \leq 4000, \\ \frac{0,3164}{Re^{0,25}} & \text{при } 4000 < Re \leq 10 \frac{D}{\Delta}, \\ 0,11 \left(\frac{\Delta}{D} + \frac{68}{Re} \right)^{0,25} & \text{при } 10 \frac{D_0}{\Delta} < Re \leq 560 \frac{D}{\Delta}, \\ 0,11 \left(\frac{\Delta}{D} \right)^{0,25} & \text{при } Re > 560 \frac{D}{\Delta}. \end{cases} \quad (2)$$

Втрати тиску на опір згину труби визначається за формулою [4]:

$$\Delta p_{зг} = 0,0175 \lambda_{зг} \delta^0 \frac{R}{D} \cdot \frac{\rho v^2}{2}, \quad (4)$$

де $\Delta p_{зг}$ — втрати тиску на опір одного коліна, δ^0 — кут згину труби, R — радіус згину труби, $\lambda_{зг}$ — коефіцієнт опору одного згину труби на 900.

При цьому значення коефіцієнта $\lambda_{зг}$ визначається наступним чином [4]:

$$\lambda_{зг} = \begin{cases} \frac{20}{Re^{0,65}} k^{0,175} & \text{при } 50 < Re \sqrt{k} \leq 600, \\ \frac{10,4}{Re^{0,55}} k^{0,225} & \text{при } 600 < Re \sqrt{k} \leq 1400, \\ \frac{5}{Re^{0,45}} k^{0,275} & \text{при } 1400 < Re \sqrt{k} \leq 5000. \end{cases} \quad (5)$$

де $k = D/2R$ — параметр геометричної форми згину.

Втрати тиску при звуженні потоку $\Delta p_{зв}$ визначаються за формулою [4]:

$$\Delta p_{зв} = \zeta_{мзв} \frac{\rho v^2}{2}, \quad (6)$$

де $\zeta_{мзв}$ — коефіцієнт місцевого гідрравлічного опору при звуженні потоку.

Значення $\zeta_{мзв}$ при $Re < 10^4$ вибираються з діаграми [4], а при $Re \geq 10^4$ розраховуються за формулою Борда-Карно [4]:

$$\zeta_{мзв} = 0,5(1 - F_1/F)^2, \quad (7)$$

де F, F_1 — площі поперечного перерізу ділянки до і після звуження труби відповідно.

Втрати тиску $\Delta p_{мри}$ на ділянці розширення визначається за формулою (6). Значення $\zeta_{мри}$ при $Re < 3,3 \cdot 10^3$ вибираються з діаграми [4], а при $Re \geq 3,3 \cdot 10^3$ розраховуються за формулою Борда-Карно [4]:

$$\zeta_{мри} = (1 - F_2/F)^2, \quad (8)$$

де F_2, F — площі поперечного перерізу ділянки до і після розширення труби відповідно.

Для розроблення програмного забезпечення застосовано мову програмування «JavaScript», яка базується на об'єктному представленні браузера. Він потрібен для того, щоб надати сайту більше інтерактивності в порівнянні зі звичайним статичним HTML-документом, тобто це мова програмування сценаріїв на веб-сторінках.

Створення програми розпочинається із тегу `<script>` який призначений для опису скриптів, може містити посилання на програму або її частину тексту певною мовою. Скрипти можуть розташовуватися в зовнішньому файлі і зв'язуватися з будь-яким HTML-документом.

Такий підхід дозволяє використовувати одні і ті ж загальні функції на багатьох веб-сторінках і прискорює їх завантаження, тому що зовнішній файл кешується при першому завантаженні, і скрипт викликається швидше при наступних викликах.

Функція `ReloadButton()` — це складова частина коду, яка призводить до початкового повернення усіх полів у «чистий» вид, іншими словами під час заповнення полів програми для їх скидання використовується кнопка «Очистити» так працює дана функція.

Функція `Re()` — це функція розрахунку числа Рейнольдса для визначення режиму потоку рідини: ламінарний, турбулентний чи перехідний. Для цього задаються формули визначення: площі труби, витрати рідини, середньої швидкості потоку і в завершненні формулу для визначення числа Рейнольдса. Після цього задається умова виконання функції `Re()`, якщо $Re < 2000$, то ми отримаємо ламінарний режим рідини, $Re \geq 2000 \sim Re \leq 4000$ — перехідний, $Re > 4000$ — турбулентний.

Всі дані які використовуються та обробляються будуть зберігатися у змінних. Змінна в машинній програмі — це ділянка пам'яті, яка може мати різні стани й зображувати ними різні стани об'єкта.

На рис.1 зображена графічний алгоритм розробленої програми (блок-схема).

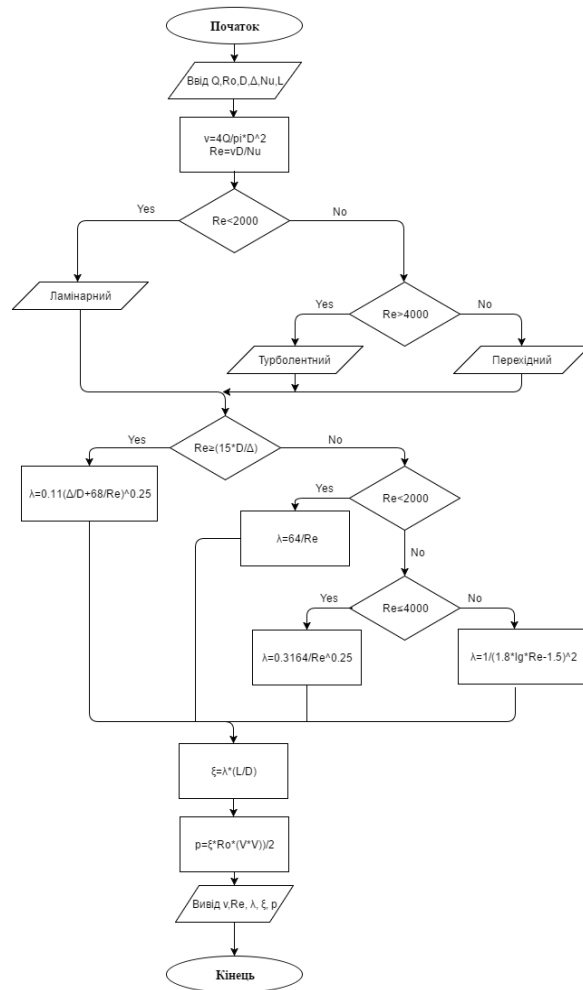


Рис. 1. Графічний алгоритм програми

Програма розраховує такі параметри як:

- режим потоку;
- швидкість руху природного газу в трубопроводі;
- число Рейнольдса;
- коефіцієнт тертя;
- коефіцієнт гідравлічного опору;
- втрату тиску (місцеві та при згинах).

Розроблене програмне забезпечення для моделювання втрат тиску в трубопроводах дозволяє врахувати геометричну форму самого трубопроводу та параметри потоку в трубопроводі.

Для проведення апробації програмного забезпечення виконаємо розрахунки втрат тиску для потоку природного газу за малих значень витрати (до $5,5 \text{ м}^3/\text{год}$) в трубопроводі діаметром 16 мм. Такі вхідні параметри моделюють будинкову мережу подачі природного газу споживачам. Робота з програмою відбувається наступним чином.

1. Задаємо вхідні дані для моделювання втрат тиску.

Введіть витрату робочого середовища, м³/с

Введіть кінематичну в'язкість, м²/с

Введіть діаметр трубопроводу, м

Введіть довжину трубопроводу, м

Введіть густину робочого середовища, кг/м³

Коефіцієнт шорсткості стінок трубопроводу, м

Виберіть тип трубопроводу

Введіть значення шорсткості

Рис. 1. Вхідні дані

2. Натискаємо кнопку «Розрахувати» і отримуємо вихідні параметри трубопроводу.

Режим Потoku	Laminar
Швидкість руху р.с в трубопроводі, м/с	0.69
Число Рейнольдса (Re)	789.92
Коефіцієнт тертя (λ)	0.081
Коефіцієнт гідравлічного опору (ξ)	5063.79
Втрата тиску (Дрлн), Па	725.741

Рис. 2. Вихідні дані

Виконаємо моделювання втрат тиску наступним чином: всі характеристики залишимо без змін, будемо змінювати тільки витрату газу від 0,5 до 5,5 м³/год. Результати моделювання втрат тиску із застосуванням програмного забезпечення Δp_{np} та теоретично розраховані значення Δp_m наведені в табл.1

Таблиця 1. Результати розрахунку втрати тиску при однаковій витраті

Δp_{np} , Па	Δp_m , Па	Q , м ³ /год	Q , м ³ /сек
725.741	725.8	0.5	0.0001389
1451.483	1452.12	1	0.0002778
3655.856	3656.122	1.5	0.0004167
6048.279	6049.2	2	0.0005556
8935.419	8936.31	2.5	0.0006944
13019.185	1302	3	0.0008333
16893.004	16900.0001	3.5	0.0009722
21184.790	2121.211	4	0.0011111
25891.735	2590.003	4.5	0.00125
30997.323	31000	5	0.001389
36492.383	36500.03	5.5	0.001528

На рис. 3 наведено графік залежності втрат тиску від витрати розраховано теоретично Δp_m та за допомогою програмного забезпечення Δp_{np} .

Для підтвердження правильності результатів моделювання слід оцінити адекватність розробленої моделі:

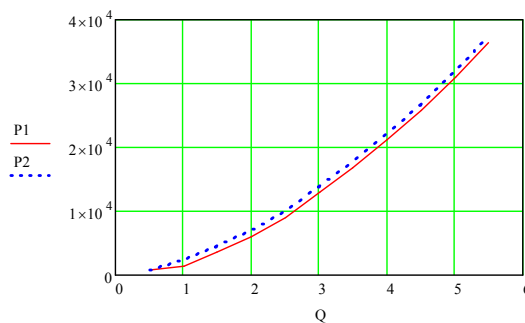


Рис. 3. Графік залежності втрати тиску від витрати

$$\sigma = \sqrt{\frac{\sum(\Delta p_{np} - \Delta p_m)^2}{n-1}} \quad (8)$$

Достовірність математичної моделі на базі якої побудоване програмне забезпечення розраховується за формулою:

$$R = \frac{\sum(\Delta p_{np} - \Delta p_m)^2}{\sum(\Delta p_{np}) - \frac{1}{n} \sum(\Delta p_m)^2}$$

Здійснивши розрахунок згідно табл.1 отримані наступні значення $\sigma = 4.6 \text{ Па}$ та $R = 0.99$.

Висновки та перспективи подальших досліджень

На основі проведених розрахунків можна зробити висновок про підтвердження адекватності застосування розробленого програмного забезпечення. За отриманими результатами очевидним є те, що програмне забезпечення з достатньою точністю описує гідравлічні втрати в трубопроводах і може застосовуватись для виконання проміжних розрахунків трубопровідних мереж. Також, дане програмне забезпечення може бути застосовано для віртуальних лабораторних робіт в навчальному процесі студентів профільних спеціальностей.

ЛІТЕРАТУРА

1. Середюк М.Д. Проектування та експлуатація систем газопостачання населених пунктів / М.Д. Середюк, В.Я. Малик, В.Т. Болонний – Івано-Франківськ: Факел, 2003. – 436 с.
2. Трубопровідний транспорт газу / М.П. Ковалко, В.Я. Грудз, В.Б. Михалків [та ін.]. – К.: Арена, 2002. – 598 с.
3. Середюк О.Є. Моделювання впливу параметрів газової мережі на точність перевірочних установок для побутових лічильників газу / О.Є. Середюк, А.Г. Винничук // Методи та прилади контролю якості – 2009. – №23. – С. 79-83.
4. Идельчик И.Е. Справочник по гидравлическим сопротивлениям. / И.Е. Идельчик – М.: Машиностроение, 1992. – 672 с.