

1. Тьюки Дж. Анализ результатов наблюдений. – М.: Мир, 1981. – 693 с.
2. Козак С.В. Сравнительный анализ методов удаления тренда при анализе динамических характеристик роторных машин // Труды Одесского политехнического университета. – 1999. – Вып. 1(7). – С. 178 – 180..
3. Кендэл М. Временные ряды. – М.: Финансы и статистика, 1981. – 199 с.
4. Френкель А.А. Прогнозирование производительности труда: методы и модели. – М.: Экономика, 1989. – 214 с.
5. Камінський Р.М. Моделювання динаміки часу розпізнавання зображень об'єктів людиною-оператором // Інформаційні технології і системи. – Т. 4. – 2001. – № 1 – 2. – С. 65 – 72.
6. Михок Г., Урсяну В. Выборочный метод и статистическое оценивание. – М.: Финансы и статистика, 1982. – 245 с.
7. Гильбо Е.П., Челпанов И.Б. Обработка сигналов на основе упорядоченного выбора. – М.: Сов. радио, 1976. – 344 с.
8. Юстуссон Б.И. Медианная фильтрация: статистические свойства // Быстрые алгоритмы в цифровой обработке изображений. – М.: Радио и связь, 1984. – С 156 – 191.
9. Федер Е. Фракталы. – М.: Мир, 1991. – 254 с.

О.Михалевич*, Я.П'янило, М.Притула

*ОДУ ДК "Укртрансгаз", м. Київ

Центр математичного моделювання ІППМ ім. Я.С.Підстригача НАН України

УДК 621.64.029

РОЗРАХУНОК ПАРАМЕТРІВ ОБ'ЄКТІВ РЕГУЛЮВАННЯ ГАЗОПОТОКОМ

© *Михалевич О., П'янило Я., Притула М., 2003*

Для ізотермічного стаціонарного плинину газу запропонований алгоритм розрахунку параметрів байпасних кранів.

The calculation algorithm for the parameters of bypass valves under isothermal stationery gas flow is proposed in the paper.

Постановка проблеми

На розподіл потоків в газових мережах суттєво впливають різного роду місцеві опори. Одні місцеві опори існують постійно (трійники, крани, зварні стики і т.п.), а інші

утворюються в процесі експлуатації газових мереж (тверді та рідкі відкладення, гідрати). Можна виділити набір місцевих опорів, які використовують для управління газопотоками (діафрагми і так звані байпасні крани). Вони є присутніми як на компресорних станціях (КС), так і на мережах магістральних газопроводів (МГ). На КС їх використовують часто для регулювання витрати газу через газоперекачувальні агрегати (ГПА), щоб відвести ГПА від зони помпажу. На МГ регулюють перетоки газу із одного МГ в інший. Розрахунок таких важливих об'єктів в комплексі з іншими місцевими опорами в літературі відсутній.

Огляд літератури

Розрахунок втрати тиску на місцевих опорах розглянуто в роботах [1 – 4]. В них наведені коефіцієнти при знайдених емпіричних залежностях для різних типів місцевих опорів. Розглянуті в літературі задачі розрахунку впливу місцевих опорів на потік газу стосується в основному тих випадків, коли сумарний вплив на потік газу пропорційний сумі гідравлічних опорів. Інші випадки в літературі не зустрічаються.

Постановка задачі

Задача полягає в побудові математичної моделі проходження газу в об'язці лінійного крану, одним та двома байпасними кранами і розрахунку їх гідравлічних параметрів.

1. Розглянемо газопровід, у якому є один байпасний кран (див. рис. 1).

Місця врізки байпасного крану в лінійний газопровід позначено цифрами 1 та 2, M_1 і M_2 – масові витрати газу через лінійний і байпасний крани відповідно, ξ_i – місцеві опори. Параметри газу P_{10} , P_{11} і P_{12} , а також P_{20} , P_{21} і P_{22} між собою є нерівними. Вважається, що вони визначають стан газу на межі початку чи завершення впливу місцевого опору, яким є трійник. Другі нижні індекси вказують на приналежність параметра до відповідної ділянки трубопроводу.

При ізотермічному стаціонарному проходженні газу спад тиску на лінійній частині газопроводу та місцевому опорі обчислюються за формулами [5,6]:

$$p_1^2 - p_2^2 = a^2 M^2, \quad (1)$$

та

$$\Delta p = 0.5 \xi \rho v^2, \quad (2)$$

де v – швидкість проходження газу, $a = \lambda ZRTL / (F^2 D)$, Δp – втрата тиску на місцевому опорі, ρ – густина газу, F – поперечний переріз відповідної труби.

Будемо вважати, що відомими величинами є: вхідний тиск газу P_i ; масова витрата M ; всі геометричні розміри елементів, (діаметри кранів, кількість колін і їх розміри і

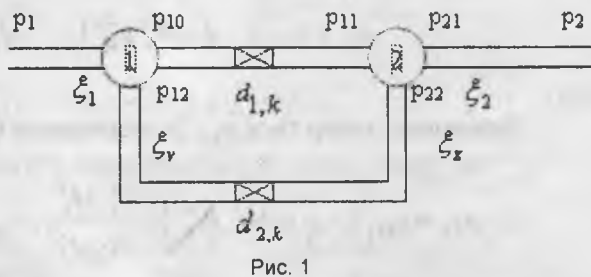


Рис. 1

г.п.), та параметри місцевих опорів.

У вузлі 1

$$M = M_1 + M_2. \quad (3)$$

Тиск P_{11} визначається співвідношенням:

$$p_{11} = p_{10} - \Delta p_{mp,np} = p_{10} - \frac{\xi_{1,1}}{2\rho_{11}F_{10}} M_1^2. \quad (4)$$

Використовуючи рівняння стану, отримуємо

$$p_{11} = p_{10} - d_{11} \frac{M_1^2}{p_{11}}, \quad d_{11} = \frac{\xi_{1,1}}{2F_{11}^2} \frac{T_{11}Z_{11}P_{10}}{\rho_{10}T_{10}Z_{10}},$$

звідки

$$p_{11} = \frac{1}{2} \left[p_{10} + \sqrt{p_{10}^2 - 4d_{11}M_1^2} \right] \approx p_{10} \left(1 - d_{11}M_1^2 p_{10}^{-2} \right). \quad (5)$$

Аналогічно отримуємо формулу для визначення тиску p_{12} .

$$p_{12} = p_{10} \left(1 - d_{12}M_2^2 p_{10}^{-2} \right), \quad d_{12} = \frac{\xi_{1,2}}{2F_2^2} \frac{T_{12}Z_{12}P_{10}}{T_{10}Z_{10}\rho_{10}}.$$

Визначимо тепер тиск p_{21} . За формулами (1) та (2)

$$p_{21} \approx p_{11} \left(1 - \frac{1}{2} a_1 M_1^2 p_{11}^{-2} \right) - \frac{\xi_1 M_1^2}{2\rho_{11}F_1^2}, \quad a_1 = \frac{\lambda_{11}Z_{11}R_{11}T_{11}L_1}{D_1F_1^2}. \quad (6)$$

У формулі (6) параметр ξ_1 враховує всі місцеві опори даної ділянки трубопроводу: $\xi_1 = \xi_{k1} + \xi_{\text{підс.кільця}} + \xi_{\text{за.стиків}}$. З рівняння стану та формули (6) отримуємо

$$p_{21} = p_{11} - \frac{a_1 M_1^2}{2p_{11}} - \frac{\xi_1}{2F_1^2} \frac{T_{11}Z_{11}P_{10}}{\rho_{10}T_{10}Z_{10}} \frac{M_1^2}{p_{11}} = p_{11} - b_1 \frac{M_1^2}{p_{11}},$$

де

$$b_1 = \frac{a_1}{2} + \frac{\xi_1}{2F_1^2} \frac{T_{11}Z_{11}P_{10}}{T_{10}Z_{10}\rho_{10}}, \quad a_1 = \frac{\lambda_{11}Z_{11}R_{11}T_{11}}{D_1F_1^2}.$$

Аналогічно знаходимо значення p_{22} тиску

$$p_{22} = p_{12} - b_2 M_2^2 p_{12}^{-1}, \quad (7)$$

де

$$b_2 = \frac{1}{2} a_2 + \frac{\xi_2}{2F_2^2} \frac{T_{12} Z_{12} P_{10}}{\rho_{10} T_{10} Z_{10}}, \quad a_2 = \frac{\lambda_{12} Z_{12} R_{12} T_{12}}{D_2 F_2^2} L_2, \quad \zeta_2 = \xi_{\text{кр}2} + \xi_{\text{підс.кві.}} + \xi_{\text{зв.ст.}} + 2\xi_{\text{колін}}.$$

Тиск p_{20} з тисками p_{21} та p_{22} зв'язаний такими співвідношеннями:

$$p_{20} = p_{21} - d_{21} \frac{M_1^2}{P_{21}}, \quad d_{21} = \frac{\xi_{21}}{2F_1^2} \frac{T_{21} Z_{21} P_{10}}{\rho_{10} Z_{10} T_{10}}, \quad (8)$$

$$p_{20} = p_{22} - d_{22} \frac{M_2^2}{P_{22}}, \quad d_{22} = \frac{\xi_{22}}{2F_2^2} \frac{T_{22} Z_{22} P_{10}}{\rho_{10} Z_{10} T_{10}}. \quad (9)$$

З рівнянь (8) та (9) отримуємо

$$p_{21} - d_{21} M_1^2 / p_{21} = p_{22} - d_{22} M_2^2 / p_{22},$$

або, використовуючи (7) та (8),

$$p_{11} - b_1 \frac{M_1^2}{p_{11}} - \frac{d_{21} M_1^2}{p_{11} - b_1 M_1^2 p_{11}^{-1}} = p_{12} - b_2 \frac{M_2^2}{p_{12}} - \frac{d_{22} M_2^2}{p_{12} - b_2 M_2^2 p_{12}^{-1}},$$

або

$$p_{11} - (b_1 + d_{21}) M_1^2 / p_{11} \approx p_{12} - (b_2 + d_{22}) M_2^2 / p_{12}. \quad (10)$$

Використовуючи формули (4) та (5), перейдемо в (10) від p_{11} та p_{12} до p_{10} .

$$p_{10} - \frac{d_{11} M_1^2}{p_{10}} - \frac{(b_1 + d_{21}) M_1^2}{p_{10} \left(1 - \frac{d_{11} M_1^2}{p_{10}^2} \right)} = p_{10} - \frac{d_{12} M_2^2}{p_{10}} - \frac{(b_2 + d_{22}) M_2^2}{p_{10} \left(1 - \frac{d_{12} M_2^2}{p_{10}^2} \right)},$$

звідки отримуємо

$$(M_1 / M_2)^2 = (b_2 + d_{12} + d_{22}) / (b_1 + d_{11} + d_{21}).$$

Остання формула встановлює залежність між розподілом масових параметрів у першому трійнику залежно від параметрів обох віток.

Нехай

$$b_3 = (b_2 + d_{12} + d_{22}) / (b_1 + d_{11} + d_{21}).$$

Тоді

$$M_1 = M_2 \sqrt{b_3}. \quad (11)$$

Підставимо (11) в (3). Отримаємо

$$M_1 + M_2 = M_2 (1 + \sqrt{b_3}) = M.$$

Звідки

$$M_2 = \frac{M}{1 + \sqrt{b_3}},$$

та

$$M_1 = \frac{\sqrt{b_3}}{1 + \sqrt{b_3}} M.$$

Оскільки розподіли масових витрат за вітками 1 та 2 відомі, то вихідний тиск p_{20} можна обчислити за формулами:

$$p_{20} = p_{21} - d_{21} \frac{M_1^2}{p_{21}}, \quad p_{21} = p_{11} - b_2 \frac{M_1^2}{p_{11}}, \quad p_{11} \approx p_{10} - d_{11} \frac{M_1^2}{p_{10}},$$

або

$$p_{20} = p_{22} - d_{22} \frac{M_2^2}{p_{22}}, \quad p_{22} = p_{12} - b_2 \frac{M_2^2}{p_{12}}, \quad p_{12} = p_{10} - d_{12} \frac{M_2^2}{p_{10}^2}.$$

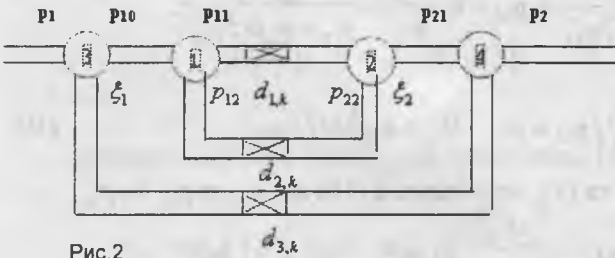


Рис.2

2. Розглянемо газопровід, у якому є два байпасні крани (див. рис.2).

Оскільки віддалі між вузлами 3 та 1 і 2 та 4 незначні, то можна вважати, що $p_{31} = p_{10}$, $p_{20} = p_{41}$. Заданими величинами будуть: тиск p_{30} та масова витрата M_{30} :

$$M_{302} = M_3 + M. \quad (12)$$

Аналогічно, як і в попередньому випадку,

$$p_{31} = p_{30} - \frac{\xi_{31}}{2\rho_{31}F_1^2} M^2 = p_{30} - d_{31} \frac{M^2}{p_{30}}, \quad p_{32} = p_{30} - d_{31} \frac{M_3^2}{p_{30}},$$

де

$$d_{31} = \frac{\xi_{31}}{2F_3^2} \frac{T_{31}Z_{31}p_{30}}{\rho_{30}T_{30}Z_{30}}, \quad d_{32} = \frac{\xi_{32}}{2F_3^2} \frac{T_{32}Z_{32}p_{30}}{\rho_{30}T_{30}Z_{30}}.$$

Оскільки, згідно з припущенням $p_{31} = p_{10}$ та $p_{20} = p_{41}$, то маючи M або M_3 , тиск p_{40} визначається за формулами:

$$p_{40} = p_{41} - d_{41} \frac{M^2}{p_{41}} = p_{20} - d_{41} \frac{M^2}{p_{20}}, \quad d_{41} = \frac{\xi_{41}}{2F_3^2} \frac{T_{41}Z_{41}p_{30}}{\rho_{30}T_{30}Z_{30}}, \quad (13)$$

або

$$p_{40} = p_{42} - d_{42} \frac{M_3^2}{p_{42}}, \quad d_{42} = \frac{\xi_{42}}{2F_3^2} \frac{T_{32} Z_{32} p_{30}}{\rho_{30} T_{30} Z_{30}}, \quad (14)$$

Далі тиск p_{42} визначається через тиск p_{32} так

$$p_{42} = \sqrt{p_{32}^2 - a_3 M_3^2} - \frac{\xi_{33ac}}{2F_3^2 \rho_{32}} M_3^2 \approx p_{32} - \frac{a_3 M_3^2}{2p_{32}} - \frac{\xi_{33ac}}{2F_3^2 \rho_{32}} M_3^2, \quad (15)$$

де

$$a_3 = \frac{\lambda_{32} Z_{32} R_{32} T_{32} L_3}{F_3^2 D_3}, \quad \xi_{33ac} = 2\xi_{3кол} + \xi_{нидс.квл.} + \xi_{зв.ст.} + \xi_{кр}.$$

Використовуючи рівняння стану, формулу (15) можна записати у вигляді

$$p_{42} = p_{32} - \frac{a_3 M_3^2}{2p_{32}} - d_{31} \frac{M_3^2}{p_{32}}, \quad d_{31} = \frac{\xi_{33ac}}{2F_3^2} \frac{T_{32} Z_{32} p_{30}}{\rho_{30} T_{30} Z_{30}},$$

або

$$p_{42} = p_{32} - b_4 \frac{M_3^2}{2p_{32}}, \quad b_4 = \frac{a_2}{2} + d_{31}.$$

Далі, оскільки

$$p_{40} = p_{42} - d_{42} \frac{M_3^2}{p_{42}},$$

то обмежуючись першим доданком розкладу, отримаємо

$$p_{40} = p_{32} - b_4 \frac{M_3^2}{p_{32}} - \frac{d_{42} M_3^2}{p_{32}} = p_{30} - (b_4 + d_{42} + d_{32}) \frac{M_3^2}{p_{30}}, \quad (16)$$

З формули (13) та (16) будемо мати

$$p_{20} - d_{41} \frac{M^2}{p_{20}} = p_{30} - b_5 \frac{M_3^2}{p_{30}}, \quad b_5 = b_4 + d_{42} + d_{32},$$

або

$$p_{20}^2 p_{30} - d_{41} p_{30} M^2 = p_{30}^2 p_{20} - b_5 p_{20} M_3^2. \quad (17)$$

Оскільки

$$M_3 = M_{звг.} - M,$$

то формулу (17) можна записати:

$$p_{20}^2 p_{30} - d_{41} p_{30} M^2 = p_{30}^2 p_{20} - b_5 p_{20} (M_{заг}^2 - 2M_{заг} M + M^2)$$

Звідси отримуємо рівняння для визначення масової витрати M :

$$(b_5 p_{20} - d_{41} p_{30}) M^2 - 2b_5 p_{20} M_{заг} M + p_{20} [p_{30} (p_{20} - p_{30}) + b_5 M_{заг}^2] = 0. \quad (18)$$

Формули (13) та (14) дозволяють знайти вихідний тиск p_{40} . Рівняння (18) можна записати

$$\left(b_5 - d_{41} \frac{p_{30}}{p_{20}} \right) M^2 - 2b_5 M_{заг} M + [p_{30} (p_{20} - p_{30}) + b_5 M_{заг}^2] = 0. \quad (19)$$

Рівняння (19) та формула (12) дають можливість визначити розподіл масових витрат у першому трійнику.

Зауваження:

1. Віддалі між відповідними трійниками в байпасному крані є порівняно невеликими, тобто перепад тиску буде незначний. Тому незначною порівняно з тисками вхідним та вихідним буде величина aM^2 . Звідси випливає, що відповідні апроксимаційні ряди будуть швидкозбіжними і достатньо використати перших два доданки ряду. Крім цього, точність апроксимації повинна бути узгоджена з точністю задання вхідних величин. Якщо вхідні величини будуть відомі з достатньо високою точністю, то необхідно або розв'язувати нелінійні рівняння, або збільшувати кількість доданків при апроксимації.
2. Гідравлічний опір λ в загальному випадку залежить від чисел Рейнольдса та коефіцієнта шершавості k труб. При достатньо високих тисках основний внесок в значення вносить величина k . Оскільки при виведенні формул всі місцеві опори виділені в окремий доданок, то можна вважати, що гідравлічний опір кожної вітки байпасного крану є сталим.

Коефіцієнт місцевих опорів ξ беруться із таблиць або номограм для відповідних діаметрів труб та параметрів кранів.

Висновки

Запропонований у роботі алгоритм дає можливість розраховувати кранову обв'язку одним або двома байпасними кранами. Даний підхід дає можливість побудови алгоритмів розрахунку більш складних обв'язок.

1. Катусенко А.В. и др. Определение коэффициентов местного сопротивления магистральных кранов // Газ. пром. – 1966. – №3.
2. Вольский Э.Л., Константинова И.М. Режим работы магистрального газопровода. – М.: Недра, 1970. – 443 с.
3. Ионин А.А. Газоснабжение. – М.: Стройиздат, 1989. – 443 с.
4. Експлуатаційникові газового комплексу: Довідник. – К.: Росток, 1998
5. Александров А.В., Яковлев Е.И. Проектирование и эксплуатация систем дальнего транспорта газа. – М.: Недра, 1974. – 443 с.
6. Бобровский С.А., Щербак С.Г. Яковлев Е.И., Гарляускас А.И., Грачев В.В. Трубопроводный транспорт газа. – М.: Наука, 1976. – 495 с.