

1972. – 244 с.

4. Санаев Ю.А. Электрофильтры: монтаж, наладка, испытание, эксплуатация. – М.: Энергия, 1984. – 194 с.

Получено 05.05.2005

УДК 622.691.4

Я.В. ДОРОШЕНКО

Український науково-дослідний інститут природних газів, м. Харків

МАТЕМАТИЧНЕ МОДЕЛЮВАННЯ РУХУ ПОРШНЯ ПО МАГІСТРАЛЬНОМУ ГАЗОПРОВОДУ З АВАРІЙНИМ ВИТОКОМ ГАЗУ

Побудовано математичну модель процесу руху поршня по магістральному газопроводу з аварійним витокком газу, наводиться методика її реалізації. Виконана оцінка відстані, яку пройде поршень від місця аварійного витокку газу до повної зупинки.

Перед очисткою та діагностуванням магістральних газопроводів, як правило, немає достатньої інформації про стан стінок трубопроводу, а під час руху поршня по газопроводу виникають додаткові навантаження на трубу, зумовлені масою поршня та інерційною силою, яка діє на поршень на криволінійних ділянках [1], що можуть призвести до виникнення амплітудних напружень в дефектних місцях трубопроводу і, як наслідок, до часткових або повних розривів стінки труби, розкриття тріщин. Після початку процесу витікання газу виникають хвилі зниження тиску, які розповсюджуються вгору і вниз за ходом газу, що призведе до зниження тиску в запоршневому просторі і гальмування руху поршня.

Згідно з діючими нормативними документами, ремонт магістральних газопроводів із застосуванням вогневих робіт здійснюється тільки після відсікання пошкодженої ділянки лінійними кранами і стравлювання транспортованого газу (через продувочні свічі) до зниження тиску газу в газопроводі до 200-500 Па. Після проведення ремонтних робіт відремонтована ділянка газопроводу продувається з метою витіснення вибухонебезпечної суміші газу з повітрям з газопроводу.

Поява аварійного витокку газу в позапоршневому просторі може призвести до зупинки поршня перед найближчим лінійним краном за ходом руху газу, що зробить неможливим проведення продувки після ремонту пошкодженої ділянки, а отже відновлення транспортування газу. Виникне необхідність пошуку місця зупинки поршня і розрізання газопроводу з метою його вилучення.

Проблемі математичного моделювання процесу руху поршня по газопроводу присвячені роботи [1-3], в яких виконані теоретичні до-

слідження динаміки руху поршня і наведено їх застосування для розв'язку ряду задач, пов'язаних з встановленням газодинамічного характеру руху газу перед поршнем і в запоршневому просторі [2], регулюванням швидкості руху поршня шляхом включення або виключення лупінгів [3]. Однак невирішеною залишається задача впливу аварійного витоку газу в запоршневому просторі на динаміку руху поршня, а тому необхідно провести математичне моделювання руху поршня по газопроводу з аварійним витоком газу, завданням якого є кількісна та якісна оцінка зміни швидкості руху поршня у часі, а одже відстані, яку пройде поршень від місця аварійного витоку газу, залежно від співвідношення масових витрат газу в магістралі до і після місця аварійного витоку газу.

Для реалізації поставленої задачі розіб'ємо газопровід на дві ділянки (рис.1). Довжина першої ділянки L_1 відповідає шляху пройде-ному поршнем від камери запуску до місця аварійного витоку газу, а довжина другої ділянки L_2 є відстанню від місця аварійного витоку газу до найближчого лінійного крана за ходом руху газу.

Математичною моделлю динаміки руху поршня під тиском газу після початку аварійного витікання газу в позапоршневому просторі (ділянка 2) є диференційне рівняння

$$m_{\Pi} \frac{d\omega_2}{dt_2} = F_2^+ - F_2^- - F_T, \quad (1)$$

де m_{Π} – маса поршня; $\frac{d\omega_2}{dt_2}$ – швидкість зміни швидкості руху поршня на другій ділянці; F_2^+ – сила зумовлена тиском газу перед поршнем; F_2^- – сила зумовлена тиском газу за поршнем; F_T – сила тертя ущільнень поршня до стінок газопроводу.

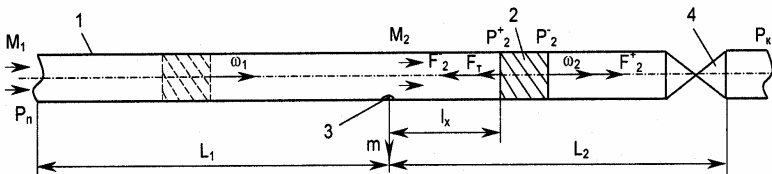


Рис.1 – Розрахункова схема:

1 – газопровід; 2 – поршень; 3 – аварійний витік газу; 4 – лінійний кран

Дана математична модель реалізується за таких умов:

- у процесі руху поршня тиск підтримується сталим і на початку першої ділянки рівний P_{II} , в місці аварійного витоку газу P_X , а в кінці другої ділянки P_K ;

- перепад тисків на рухомій межі сталий і визначається виключно силою тертя ущільнень поршня до стінок труб;

- зміною сили тертя ущільнень поршня до стінок труб залежно від швидкості поршня та пройденого шляху знехтувано і досягається рівність лінійних швидкостей газу до та за поршнем швидкості руху поршня.

Як відомо, одновимірний ізотермічний рух газу в газопроводі описується рівнянням стану газу

$$\frac{P}{\rho} = zRT, \quad (2)$$

де P , ρ , T – відповідно, середні по перерізу газопроводу тиск, густина і температура газу; z – коефіцієнт стискуваності газу; R – газова стала.

Масова витрата газу на другій ділянці

$$M_2 = M_1 - m = \omega_2 \rho_2 S, \quad (3)$$

де M_1 – масова витрата газу по магістралі до аварійного витоку газу; m – масова витрата газу через аварійний витік газу; ω_2 , ρ_2 – відповідно, лінійна швидкість газу та густина газу на другій ділянці; S – площа поперечного перерізу газопроводу.

Враховуючи (2) і (3), визначаємо сили, які діють на поршень:

$$F_2^+ = P_2^+ S = \frac{M_2 z_2^+ RT}{\omega_2 S} S = \frac{M_2 z_2^+ RT}{\omega_2}; \quad (4)$$

$$F_2^- = P_2^- S = \frac{M_2 z_2^- RT}{\omega_2 S} S = \frac{M_2 z_2^- RT}{\omega_2}, \quad (5)$$

де P_2^+ , z_2^+ – відповідно, тиск і коефіцієнт стискуваності газу перед поршнем; P_2^- , z_2^- – відповідно, тиск і коефіцієнт стискуваності газу за поршнем.

Під час руху поршень долає силу тертя ущільнень до стінок трубопроводу, рівну

$$F_T = f_T m_{II} g, \quad (6)$$

де f_T – коефіцієнт тертя ущільнень до стінок газопроводу; g – прискорення вільного падіння.

Таким чином, рівняння (1) можна записати в вигляді

$$m_{II} \frac{d\omega_2}{dt_2} = \frac{M_2(z_2^+ - z_2^-)RT}{\omega_2} - f_T m_{II} g. \quad (7)$$

Граничні умови на початку і в кінці другої ділянки будуть наступними:

початкові умови

$$\omega_2 = \omega_1, \quad t_2 = 0; \quad (8)$$

кінцеві умови

$$\omega_2 = 0, \quad t_2 = 2 \frac{l_X}{\omega_1}, \quad (9)$$

де ω_1 – швидкість поршня на першій ділянці; l_X – відстань, яку пройде поршень після проходження аварійного витoku газу до повної зупинки.

Розв'язком диференційного рівняння (7) для другої ділянки з врахуванням граничних умов (8)-(9) є формула для визначення відстані яку пройде поршень після проходження аварійного витoku газу до повної зупинки

$$l_X = \frac{\omega_1}{2f_T g} \left(\omega_1 - \frac{M_2(z_2^+ - z_2^-)RT}{f_T g m_{II}} \times \right. \\ \left. \times \ln \frac{M_2(z_2^+ - z_2^-)RT}{M_2(z_2^+ - z_2^-)RT - f_T m_{II} g \omega_1} \right). \quad (10)$$

За одержаним розв'язком (10) було виконано розрахунки і побудовано залежності відстані, яку пройде поршень після проходження аварійного витoku газу до повної зупинки l_X , від швидкості поршня на першій ділянці ω_1 при різних коефіцієнтах тертя ущільнювачів f_T (рис.2). Якщо відстань від місця аварійного витoku газу до найближчого лінійного крана за ходом руху газу L_2 є більшою відстані l_X , обчисленої за рівнянням (10), то з моменту появи аварійного витoku газу необхідно збільшувати витрату газу на початку газопроводу M_1 до тих пір, поки пройдений поршнем шлях l_X до повної зупинки

не буде рівний відстані від місця аварійного витоку газу до найближчого лінійного крану за ходом руху газу L_2 , що дасть можливість провести продувку аварійної ділянки після виконання ремонтних робіт і відновити транспортування газу.

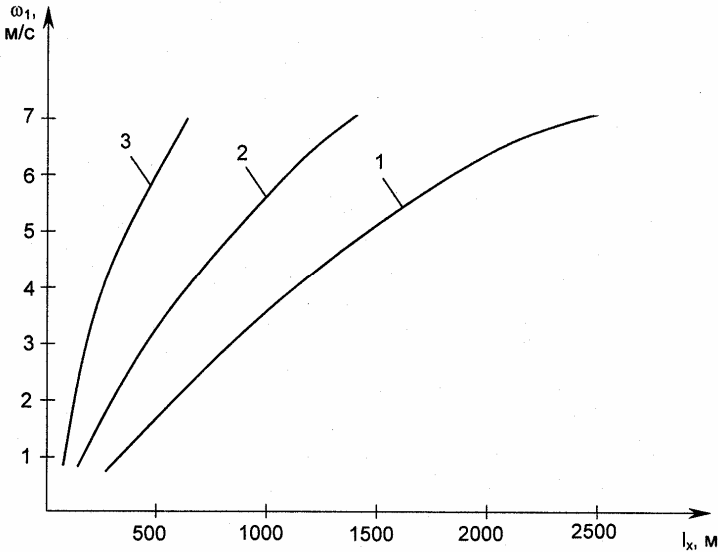


Рис.2 – Залежність відстані, яку пройде поршень після проходження аварійного витоку газу до повної зупинки L_x , від швидкості поршня на першій ділянці ω_1 :
 1 – $f_T=0,2$; 2 – $f_T=0,3$; 3 – $f_T=0,4$

Запропонована математична модель дає можливість змоделювати рух поршня по газопроводу з аварійним витоком газу і визначити відстань, яку пройде поршень від місця аварійного витоку газу до повної зупинки, що дозволить прийняти необхідні рішення для забезпечення відновлення транспортування газу після проведення ремонтних робіт.

1.Смолдырев А. Е., Тантлевский А. В. Пневматический транспорт штучных грузов. – М.:Машиностроение, 1979. – 168 с.

2.Грудз В. Я., Бакаев В. В., Грудз Я. В., Розен Г. Математичне моделювання процесу руху інтелектуального поршня по газопроводу // Нафтова і газова промисловість. – 2000. – №1. – С.46-47.

3.Грудз В. Я., Бакаев В. В., Грудз Я. В., Розен Г. Регулювання руху інтелектуального поршня зміною технологічної схеми лінійної ділянки // Нафтова і газова промисловість. – 2001. – №1. – С.44-45.

Отримано 05.05.2005