

# ТРАНСПОРТ ТА ЗБЕРІГАННЯ НАФТИ І ГАЗУ

УДК 622.691

## ДОСЛІДЖЕННЯ ГАЗОДИНАМІЧНИХ ПРОЦЕСІВ В ГАЗОПРОВІДІ, ВИКЛИКАНИХ ЗАСТРЯГАННЯМ МЕХАНІЧНОГО ПРИСТРОЮ

<sup>1</sup>В.Я.Грудз, <sup>2</sup>Р.М.Терефенко<sup>1</sup> ІФНТУНГ, 76019, м. Івано-Франківськ, вул. Карпатська, 15, тел.(03422) 42157,  
e-mail: public@nung.edu.ua<sup>2</sup> ГАЛНАФТОГАЗ, 76000, м. Івано-Франківськ, вул. Короля Данила, 16 б, тел.(0342) 714078,  
e-mail: halnftogaz@mail.ru

*Побудовано математичну модель нестационарного процесу в газопроводі, викликаного непередбаченою зупинкою механічного пристрою, що рухався під тиском газу. Реалізація моделі дала підстави зробити практичні висновки для проведення процесу очищення газопроводів.*

*Построена математическая модель нестационарного процесса в газопроводе, вызванного непредвиденной остановкой механического устройства, двигавшегося под давлением газа. Реализация модели позволила сделать практические выводы для проведения процесса очистки газопроводов.*

*The mathematical model of transient is built in a gas pipeline, mechanical device caused by the unforeseen stop, and that moved force-feed gas. Realization of model allowed to re-done practical conclusions for the lead through of process cleaning of gas pipelines.*

Рух механічного пристрою газопроводом зумовлює нестационарність процесу газодинаміки газового потоку в трубопроводі, характер якого, в свою чергу, впливає на динаміку руху пристрою. Випадкова зупинка пристрою в газопроводі привносить нові збурення в газодинамічний процес, що призводить до зміни характеру нестационарності.

В [1] створено математичну модель газодинамічного процесу в газопроводі під час руху механічного пристрою, яка базується на рівняннях руху газу та нерозривності потоку. Реалізація моделі за початкових і граничних умов, що визначають технологічні особливості процесу і умови на рухомій границі, дала змогу отримати розв'язок у вигляді розподілу тиску по довжині газопроводу і в часі

$$\begin{aligned}
 P_1^2(x, t) = & P_1^2 - \frac{P_1^2 - P_2^2}{L} x + \frac{2}{L-l} \times \\
 & \times \sum_{n=1}^{\infty} \left\{ \int_0^{L-l} (P_n^2 - P_1^2) - (P_k^2 - P_2^2) \right\} \frac{x}{L} \times \\
 & \times \sin \frac{(4n-1)\pi}{2(L-2l)} (L-x) dx \Big\} \times \\
 & \times \exp \left( - \frac{(4n-1)\pi^2 \aleph t}{4(L-2l)^2} \right) \sin \frac{(4n-1)\pi}{2(L-2l)} (L-x),
 \end{aligned} \tag{1}$$

де:  $P_n, P_k$  – тиски на початку і на кінцевій ділянці газопроводу для умов стаціонарного процесу (початкові умови);  $P_1, P_2$  – тиски на початку і на кінцевій ділянці газопроводу в процесі руху механічного пристрою;  $l$  – лінійна координата рухомого механічного пристрою;  $L$  – довжина газопроводу;  $\aleph = 2dc^2 / \lambda W$ ;  $d$  – внутрішній діаметр газопроводу;  $c$  – швидкість звуку в газі;  $\lambda$  – коефіцієнт гідравлічного

опору газопроводу;  $W$  – лінійна швидкість газу в трубах.

Наведена математична модель дає змогу оцінити характер нестационарного процесу в газопроводі під час руху механічного пристрою. При цьому вважається, що тиск газу на початку газопроводу сталий, а масова витрата змінна. У момент зупинки пристрою, що рухається газопроводом, нестационарний процес порушується новим збуренням, і починається зростання тиску на початку газопроводу за практично сталої масової витрати.

Нехай в момент часу  $t_0$  відбулася зупинка поршня в газопроводі на віддалі  $l(t_0)$  від початку траси. Тоді, починаючи з даного моменту часу, характер газодинамічного процесу в запоршневому просторі порушиться. Новий нестационарний процес, який почнеться з моменту часу  $t_0$  може бути описаний системою рівнянь, котра для зони запоршневого простору запишеться у вигляді

$$\begin{aligned} -\frac{\partial P}{\partial x} &= \frac{2a}{F} M; \\ -\frac{\partial P}{\partial t} &= \frac{c^2}{F} \frac{\partial M}{\partial x}, \end{aligned} \quad (2)$$

де:  $M$  – масова витрата газу;  $F$  – площа поперечного перерізу трубопроводу.

Будемо вважати, що на початку газопроводу здійснюється подача газу в запоршневий простір зі сталою масовою витратою  $M_0$ , величина якої може бути знайдена з розв'язку задачі про рух очисного пристрою для моменту часу  $t_0$ . Для кінцевого перерізу масова витрата буде рівною величині перетоків через поршень, що зупинився  $M_L$ , і може бути знайдена з формули Сен-Венана-Вентцеля

$$M_L = f \sqrt{\frac{2k}{k-1} P_+ \rho_+ \left[ \left(\frac{P_-}{P_+}\right)^{\frac{2}{k}} - \left(\frac{P_-}{P_+}\right)^{\frac{k+1}{k}} \right]}, \quad (3)$$

де:  $P_+, P_-$  – тиски газу за і перед поршнем, що зупинився;  $f$  – площа перерізу щілини;  $k$  – показник адіабати.

Граничні умови для реалізації (2) мають вигляд

$$\frac{\partial P}{\partial x} \Big|_{x=0} = -\mu M_0; \quad \frac{\partial P}{\partial x} \Big|_{x=l_0} = -\mu M_L; \quad (4)$$

Використовуючи як початкову умову рівняння (1), що задає функцію до початку нестационарного процесу, викликаного зупинкою механічного пристрою, знайдемо тиск в газопроводі при зупинці пристрою як функцію лінійної координати і часу:

$$\begin{aligned} P^2(x, t) &= P_1^2 - \frac{P_1^2 - P_2^2}{L} x + \frac{2\lambda w}{\pi d^3} M_0 x \times \\ &\times \left[ \left(1 - \frac{M_L}{M_0}\right) \frac{x}{l_0} - 1 \right] + \sum_{n=1}^{\infty} \left[ \frac{4\lambda w M_0 l_0}{d^3 \pi^3 n^2} \left\{ [1 - (-1)^n] + \right. \right. \\ &+ \left. \left. \left(1 - \frac{M_L}{M_0}\right) (-1)^n - \frac{P_1^2 - P_2^2}{L} [1 - (-1)^n] + \right. \right. \\ &+ \left. \frac{16Jn}{l_0 [(4n-1)\pi l_0 - \frac{4\pi^2 n^2}{(4n-1)\pi l_0}]} \times \right. \\ &\times \left. \left. [(-1)^n \cos\left(\frac{(4n-1)\pi}{2} (L-l_0)\right) - \cos\left(\frac{(4n-1)\pi L}{2}\right)] \right\} \times \right. \\ &\times \left. \cos \frac{\pi n x}{l_0} [1 - \exp(-\frac{\pi^2 n^2 \lambda t}{l_0^2})] \right], \end{aligned} \quad (5)$$

де  $l_0$  – лінійна координата пристрою, що зупинився.

За (5) проведено розрахунки для визначення характеру нестационарного процесу в гіпотетичному газопроводі при зупинці очисного пристрою. На рис. 1 зображено характер зміни в часі тиску в точці зупинки очисного пристрою (крива 1) і на початку траси газопроводу (крива 2). Розрахунки свідчать, що в точці неповного закупорювання газопроводу безпосередньо за очисним пристроєм тиск починає зростати і стабілізується на певному рівні за незначний проміжок часу (8–10 с). Місцеве неповне закупорювання газопроводу очисним пристроєм відіграє роль місцевого опору в газопроводі, який характеризується сталим коефіцієнтом місцевого опору. На початку траси газопроводу зростання тиску в часі є більш стрімким. Щодо тиску в точці неповного закупорювання, то різниця тисків у часі постійно зростає. Стабілізація тиску на початку траси газопроводу залежить від діаметра газопроводу, коефіцієнта гідравлічного опору та відстані до місця неповного закупорювання. Важливе значення при цьому відіграє величина витрати перетоків газу через границю розділу, яка загалом невідома. Зі збільшенням діаметра газопроводу (решта даних ідентичні) з 300 мм до 500 мм тривалість стабілізації тиску на початку газопроводу зменшується з 530 с до 315 с. У разі збільшення відстані до місця неповного закупорювання і коефіцієнта гідравлічного опору газопроводу час стабілізації тиску на початку газопроводу зростає ідентично. Так, за  $\lambda l_0 = 85$  м тривалість процесу стабілізації тиску 315 с, а за  $\lambda l_0 = 95$  м вона становить 333 с. Подальше збільшення  $\lambda l_0$  до 105 призводить до зростання часу стабілізації тиску до 350 с.

Зміна масової витрати перетоків через неповне закупорювання щонайбільше впливає як на величину зміни тиску на початку газопроводу, так і на тривалість процесу стабілізації тиску. За величини масової витрати перетоків газу

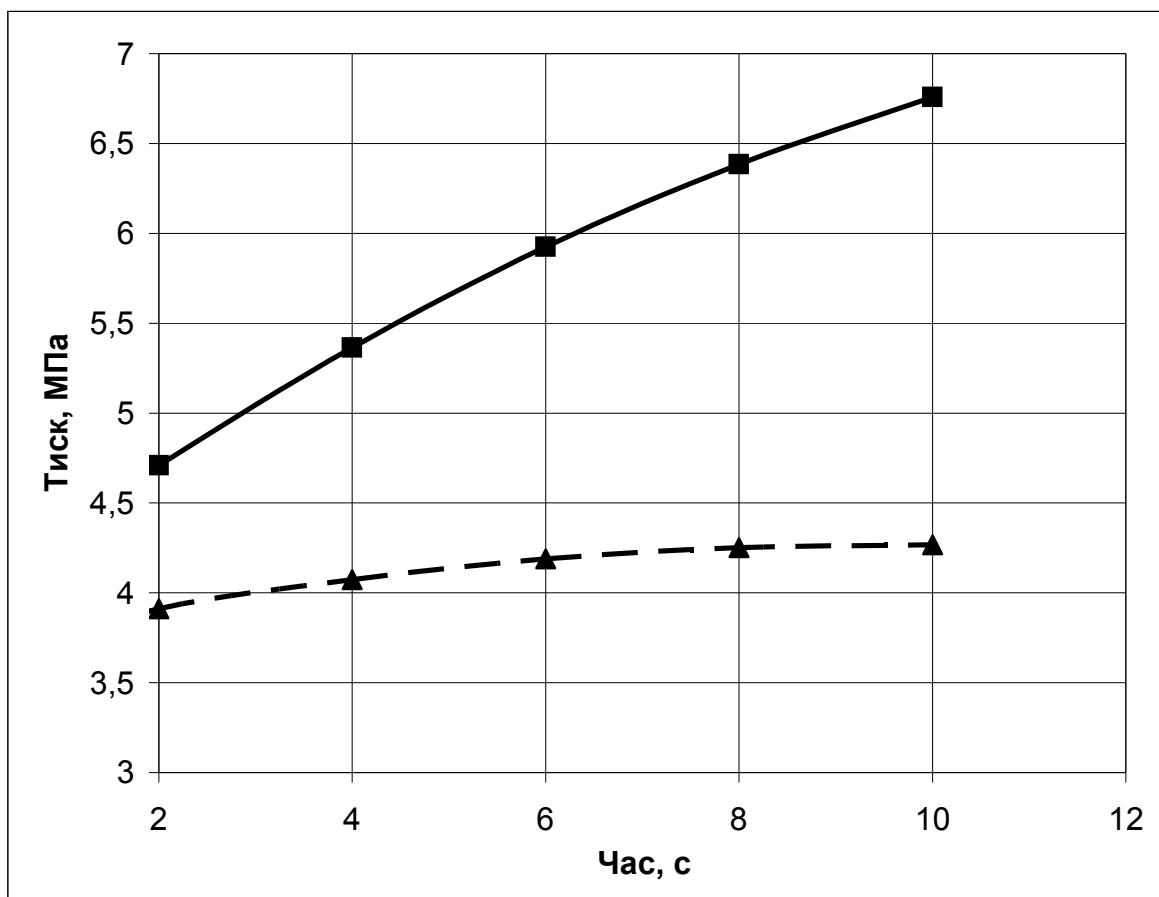


Рисунок 1 — Зміна тиску в часі на початку траси (□) і в точці закупорки (Δ)

$m = 25 \text{ кг/с}$  (тобто 10% від витрати газу газопроводом під час руху очисного пристрою), відношення тиску наприкінці періоду стабілізації до тиску на початку газопроводу під час руху очисного пристрою на даний момент часу

складає  $\frac{P_3}{P(0,t)} = 1,52$ , а тривалість періоду стабілізації – 351 с. У разі збільшення величини масової витрати перетоків до  $37,5 \text{ кг/с}$ , тобто до 15% від витрати газу газопроводом під час руху очисного пристрою відношення вказаних тисків складо

$\frac{P_3}{P(0,t)} = 1,306$ , а час стабілізації тиску зменшився до 302 с. Отже, збільшення витрати масових перетоків через границю розділу призводить до зменшення величини тиску стабілізації на початку траси газопроводу і скорочує період стабілізації тиску.

Аналіз параметрів нестационарних газодинамічних процесів в газопроводі, викликаних неплановою зупинкою (застряганням) очисного пристрою свідчить, що діапазон їх зміни достатньо широкий і залежить від великої кількості чинників, що безпосередньо впливають на параметри і тривалість процесів. Як бачимо, за результатами аналізу нестационарного процесу у разі зупинки очисного пристрою координату застрягання визначити неможливо.

Аналіз параметрів нестационарних газодинамічних процесів в газопроводі, викликаних неплановою зупинкою (застряганням) очисного пристрою свідчить, що діапазон їх зміни достатньо широкий і залежить від великої кількості чинників, що безпосередньо впливають на параметри і тривалість процесів. Як бачимо, за результатами аналізу нестационарного процесу у разі зупинки очисного пристрою координату застрягання визначити неможливо.

### Література

1 Грудз В.Я. Розробка методів регулювання режиму роботи газопроводів в процесі їх діагностування інтелектуальними поршнями: Дис... канд. техн. наук: 05.15.13 / Івано-Франківський національний технічний університет нафти і газу – Івано-Франківськ, 2002. – 145 с.

Стаття поступила в редакційну колегію  
18.03.09