

ПІДВИЩЕННЯ ЕФЕКТИВНОСТІ ОЧИСТКИ ГАЗОПРОВОДІВ ШЛЯХОМ РЕГУЛЮВАННЯ ШВИДКОСТІ РУХУ ОЧИСНИХ ПРИСТРОЇВ

¹В. Я. Грудз, ²Н. Б. Слободян

¹ІФНТУНГ, 76019, м. Івано-Франківськ, вул. Карпатська, 15, тел. (0342) 727138,
e-mail: v.g rudz @ n u n g . e d u . u a

²АТ “Івано-Франківськгаз”; 76010, м. Івано-Франківськ, вул. Ленкавського, 20, тел. (0342) 586274,
e-mail: n a z a r . s l o b o d i a n 2 8 @ g m a i l . c o m

Важливим аспектом підвищення гідравлічної ефективності трубопровідного транспорту є періодичні його очистки за допомогою механічних очисних пристроїв. Очищення газопроводів за допомогою очисних поршнів є технологічно складним процесом. Для підвищення ефективності очищення газопроводу з пересіченим профілем траси доцільно регулювати швидкість руху поршня. На висхідних і рівнинних ділянках траси підтримувати високу швидкість руху пристрою, а на низхідних – її знижувати. Для гальмування руху поршня на низхідних ділянках магістральних газопроводів запропоновано змінювати технологічну схему лінійної частини. Для зміни технологічної схеми пропонується підключення лупінгу. Здійснено оцінку зміни швидкості руху очисного пристрою при зміні технологічної схеми магістрального газопроводу. Досліджено вплив на динаміку руху очисного поршня основних параметрів газопроводу та лупінгу, а також параметрів руху самого поршня. Побудовано математичну модель процесу, на основі реалізації якої встановлено закономірності руху очисного пристрою при зміні технологічної схеми газопроводу. Отримано рівняння для знаходження співвідношення масових витрат газу в магістральному газопроводі до і після під'єднання лупінга, яке можна розв'язати методом ітерацій. Розроблено алгоритм і складено програму розрахунку ступеня зменшення швидкості руху поршня в залежності від роду технологічних параметрів та технічних характеристик очисного пристрою і трубопроводу. На основі проведених розрахунків побудовано графічні залежності відносної швидкості поршня від технологічних параметрів та технічних характеристик магістрального трубопроводу. Авторами встановлено, що найбільший вплив на ступінь зниження швидкості руху поршня має довжина лупінга. Досліджено, що зменшення початкового і збільшення кінцевого тисків, а також збільшення перепаду тисків на рухомій границі призводить до покращення умов гальмування.

Ключові слова: очистка, очисний поршень, регулювання швидкості, гальмування, лупінг, гідравлічна ефективність, гідроудар, рідинні перетоки.

Важным аспектом повышения гидравлической эффективности трубопроводного транспорта являются периодические его очистки с помощью механических очистных устройств. Очистка газопроводов с помощью очистных поршней является технологически сложным процессом. Для повышения эффективности очистки газопровода с пересеченным профилем трассы целесообразно регулировать скорость движения поршня. На восходящих и равнинных участках трассы поддерживать высокую скорость движения устройства, а на нисходящих - ее снижать. Для торможения движения поршня на нисходящих участках магистральных газопроводов предлагается изменять технологическую схему линейной части. Для изменения технологической схемы предлагается применять подключения лупинга. Осуществлена оценка изменения скорости движения очистного устройства при изменении технологической схемы магистрального газопровода. Исследовано влияние на динамику движения очистного поршня основных параметров газопровода и лупинга, а также параметров движения самого поршня. Построена математическая модель процесса, на основе реализации которой установлены закономерности движения очистного устройства при изменении технологической схемы газопровода. Получено уравнение для нахождения соотношения массовых расходов газа в магистральном газопроводе до и после подключения лупинга, которое можно решить методом итераций. Разработан алгоритм и составлена программа расчета степени уменьшения скорости движения поршня в зависимости от рода технологических параметров и технических характеристик очистного устройства и трубопровода. На основе проведенных расчетов построены графические зависимости относительной скорости поршня от технологических параметров и технических характеристик магистрального трубопровода. Авторами установлено, что наибольшее влияние на степень снижения скорости движения поршня имеет протяженность лупинга. Доказано, что уменьшение начального и увеличение

конечного давлений, а также увеличение перепада давлений на подвижной границе приводит к улучшению условий торможения.

Ключевые слова: очистка, очистительный поршень, регулировка скорости, торможения, лупинг, гидравлическая эффективность, гидроудар, жидкостные перетоки.

An important aspect of improving the hydraulic efficiency of pipeline transport is its periodic cleaning with mechanical cleaning devices. Cleaning gas pipelines with cleaning pistons is a technologically complex process. It is advisable to adjust the speed of the piston to increase the efficiency of cleaning the pipeline with the crossed track profile. On the ascending and plain sections of the route, maintain a high speed of movement of the device, and on the descending it to reduce. To slow down the movement of the piston in the downstream sections of the main gas pipelines, it is proposed to change the technological scheme of the linear part. It is suggested to use a looping connection to change the flow chart. The change of the speed of movement of the treatment device when changing the technological scheme of the main gas pipeline was evaluated. The influence on the dynamics of the movement of the cleaning piston of the main parameters of the pipeline and looping, as well as the parameters of the movement of the piston itself, are investigated. A mathematical model of the process is built, on the basis of the implementation of which the regularities of the treatment device movement when changing the technological scheme of the gas pipeline are established. An equation was obtained to find the ratio of the mass flow rates of gas in the main gas pipeline before and after connecting the loop, which can be solved by the iteration method. The algorithm is developed and the program of calculation of the degree of reduction of the speed of movement of the piston is developed, depending on the kind of technological parameters and technical characteristics of the treatment device and the pipeline. Based on the calculations, the graphical dependences of the relative speed of the piston on the technological parameters and technical characteristics of the main pipeline were constructed. The authors found that the greatest effect on the degree of reduction of the speed of the piston has the length of the loop. It has been investigated that a decrease in the initial pressure and an increase in the final pressure, as well as an increase in the pressure drop at the moving boundary, lead to an improvement in the braking conditions.

Keywords: cleaning, cleaning piston, speed control, braking, looping, hydraulic efficiency, hydraulic shock, fluid flows.

Вступ

Розвинута газотранспортна система України не вимагає на даний час збільшення пропускної здатності шляхом будівництва нових газових магістралей. Основною проблемою є підвищення надійності існуючих газопроводів шляхом їх оптимального обслуговування та реконструкції.

У сучасних умовах старіння газотранспортної системи України розробка принципово нових технологій ремонту, створення високоефективного вітчизняного обладнання, своєчасне і якісне обстеження трубопровідних магістралей, а також їхня реконструкція і модернізація є однією з найважливіших задач трубопровідного транспорту, що потребує вирішення складних науково-технічних питань, притягнення передових досягнень сучасної науки і техніки. Це дозволить уникнути значних економічних та екологічних втрат, які будуть зумовлені аваріями.

Ефективна експлуатація газопроводів в сучасних умовах передбачає використання механічних пристроїв, що рухаються в трубах під тиском газу. До таких пристроїв відносяться засоби очистки, призначені для витіснення забруднень з порожнини газопроводу, інтелектуальні поршні, призначені для діагностування стану труб, засоби локалізації аварійних ділянок для проведення ремонтних робіт. Основним завданням, що висувається до застосування

того чи іншого механічного пристрою, є підвищення ефективності його роботи за безпосереднім призначенням.

Аналіз сучасних закордонних і вітчизняних досліджень і публікацій

Механічні очисні пристрої використовувалися на газопроводах і газотранспортних системах практично від початку їх існування [1, 2]. За призначенням їх можна поділити на дві групи:

- механічні очисні пристрої для очищення газопроводу перед введенням його в експлуатацію;
- механічні очисні пристрої для очищення газопроводу в процесі його експлуатації.

Не зважаючи на те, що в обох випадках можуть бути використані одні і ті ж конструкції очисних пристроїв (або близькі за функціональною схемою), умови роботи їх в газопроводі суттєво різні. Якщо в першому випадку пристрій має завданням очистити газопровід від будівельного сміття, що представляє собою набір твердих тіл непередбачуваної форми з абсолютно невідомим розподілом вздовж траси, то в другому випадку очисні пристрої повинні забезпечити в основному витіснення рідкої фази з трубопроводу. В обох випадках пристрій повинен максимально ефективно виконати поставлену задачу і пройти трасу газопроводу без зупинок.

Для очищення газопроводів розроблено і широко використовується на практиці велика кількість різноманітних конструкцій очисних пристроїв. Однак кожен з них можна умовно віднести до одного з наступних типів:

- очисні кулі;
- еластичні очисні поршні;
- очисні поршні манжетного типу.

Механічні очисні пристрої для очищення газопроводу в процесі його експлуатації призначені, в основному, для витиснення рідкої фази з порожнини трубопроводу з метою підвищення його гідравлічної ефективності.

Як відомо [3], ступінь підвищення гідравлічної ефективності газопроводу шляхом його очищення механічними пристроями не досягає 100% і залежить від багатьох факторів, серед яких особливості конструкції пристрою, маса рідинних скупчень в порожнині газопроводу і їх властивості, режим руху пристрою в процесі очищення. Існує оптимальна швидкість руху очисного пристрою, при якій ступінь очищення досягає максимуму [4, 5].

Проведений аналіз літературних матеріалів у вітчизняних і зарубіжних виданнях свідчить про значний обсяг досліджень в області застосування очисних пристроїв для магістральних газопроводів. Як бачимо, існуючі на сьогоднішній день конструкції очисних пристроїв для видалення рідинної фази мають певні недоліки через недосконалість будови та відсутність даних досліджень принципу їх роботи в реальних умовах. Все це вимагає проведення додаткових досліджень для вдосконалення і впровадження відомих і розроблення нових методів очистки магістральних газопроводів.

Висвітлення невирішених раніше частин загальної проблеми

Неповне витиснення рідкої фази з трубопроводу пояснюється існуванням перетоки рідкої фази, що у вигляді пробки рухається перед очисним пристроєм, через рухому границю. При цьому розрізняють перетоки двох типів - шляхові і місцеві. Шляхові перетоки характерні для руху пристрою трубопроводом внаслідок різниці у формах епюр швидкостей твердого тіла і рідкої фази. Зі збільшенням швидкості руху системи різниця у формах епюр швидкостей нівелюється, що призводить до зменшення перетоки через рухому границю і підвищення ефективності очищення. Місцеві перетоки виникають в момент зустрічі очисного пристрою з пробкою рідинних скупчень в понижених точках траси газопроводу, що призводить до гідравлічного удару і підвищення тиску в області

рідкої фази, обумовлюючи перетоки рідини в запоршневий простір. Збільшення швидкості руху пристрою при гідроударі призводить до інтенсивності підвищення тиску в рідкій фазі і збільшення перетоки в запоршневий простір, знижуючи ефективність очищення газопроводу.

Як згадувалось вище, під оптимальною швидкістю руху очисного пристрою по газопроводу розуміють таку його швидкість, при якій досягається максимальний ступінь очищення порожнини газопроводу від рідких накопичень. Потреба в оптимальній швидкості руху очисних пристроїв газопроводом пояснюється завдяки двом різним ефектам, які відбуваються через режим руху пристрою в процесі очищення. Тому невирішеною проблемою залишається розроблення методу дотримання оптимальної швидкості поршня на ділянках магістральних газопроводів із пересіченим профілем траси та дослідження його принципу роботи в реальних умовах.

Формулювання цілей статті

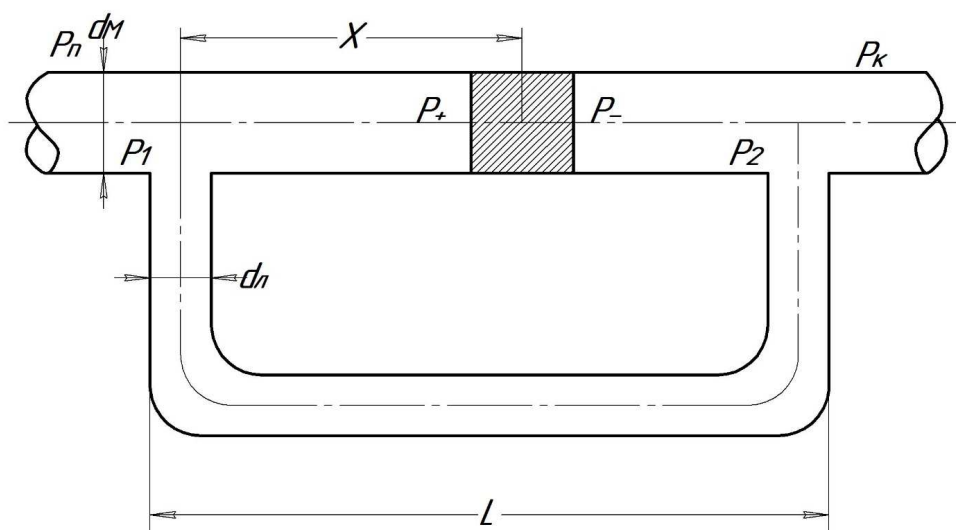
Траса лінійної ділянки магістрального газопроводу з пересіченим профілем складається із лінійних відрізків з різними кутами нахилу до горизонту, послідовно з'єднаних між собою.

З точки зору підвищення ефективності очищення газопроводу з пересіченим профілем траси, доцільно на висхідних і рівнинних ділянках траси підтримувати високу швидкість руху пристрою, а на низхідних - її знижувати.

Виконати вказане регулювання швидкості руху пристрою шляхом зміни режиму подачі газу в газопровід надзвичайно важко через складність газотранспортної системи і процесу регулювання режиму роботи газоперекачувальних агрегатів на компресорних станціях. Тому з метою гальмування руху очисного пристрою на низхідних ділянках траси пропонується використання зміни технологічної схеми лінійної частини, а саме підключення лупінгу, який в умовах пересіченого профілю траси газопроводу споруджується в основному для забезпечення надійності експлуатації.

Висвітлення основного матеріалу дослідження

При очищенні газопроводів з пересіченим профілем траси важко витримати режим подачі газу в газопровід, при якому швидкість руху поршня була б сталою, чи, принаймні, не виходила за межі допустимого інтервалу [6, 7]. При переході поршня з висхідної на низхідну ділянку траси сила гравітації викликає дію прискорення на рухомий поршень. Тому необхідно



L – довжина лупінга; x – лінійна координата поршня; d_M, d_L – діаметри магістралі та лупінга; P_n, P_k – тиски на початку та в кінці газопроводу; P_1, P_2 – тиски на початку і в кінці підключення лупінга; P_+, P_- – тиски за і перед рухомим поршнем

Рисунок 1 – Розрахункова схема

вжити заходів для гальмування руху поршня. До таких заходів можна віднести зміну технологічної схеми траси, яка призведе до зменшення витрати газу в магістралі і, як наслідок, до гальмування руху поршня. Якщо магістраль на необхідній ділянці має лупінг, то його під'єднання до магістралі в момент, коли поршень перейде на низхідну ділянку, дозволить частину газу перепустити по лупінгу, що зменшить лінійні швидкості руху в магістралі і призведе до гальмування руху поршня.

Для успішного використання запропонованого методу на практиці необхідно оцінити кількісно і якісно зміну швидкості руху очисного поршня при зміні технологічної схеми траси і встановити вплив на динаміку руху основних параметрів газопроводу і лупінгу, а також параметрів руху поршня.

З цією метою створено математичну модель процесу, при побудові якої використано такі припущення:

- рух газу в магістралі в момент зміни технологічної схеми траси – квазістаціонарний та ізотермічний;
- перепад тисків на рухомій границі – постійний;
- зміною сили тертя ущільнень поршня до стінок труб в залежності від швидкості поршня та пройденого шляху знехтувано;
- тиски на початку і в кінці газопроводу не змінюються при зміні технологічної схеми траси.

Нехай при русі поршня по магістралі (рисунок 1) тиски на початку і в кінці траси

складали відповідно P_n і P_k , а тиски в точках під'єднання лупінга – P_1 і P_2 . Перепад тисків на рухомій границі визначався різницею тисків $\Delta P = P_+ - P_-$.

Масова витрата газу по магістралі Q_{M0} в умовах квазістаціонарного та ізотермічного руху газу до під'єднання лупінгу визначається тисками на початку та в кінці і може бути знайдена з основного рівняння газопроводів [8]

$$Q_{M0} = F_M \sqrt{\frac{(P_n^2 - P_k^2) d_M}{\lambda_M Z R T l_0}} \quad (1)$$

В момент під'єднання лупінгу тиски в точках під'єднання зміняться відповідно від P_n до P_1 і від P_2 до P_k , а масова витрата газу по магістралі – від Q_{M0} до Q_M . Очевидно, що зменшення швидкості руху поршня може бути оцінена зменшенням масової витрати газу, тобто співвідношенням Q_{M0}/Q_M .

Якщо масова витрата газу по магістралі до і після лупінгу складає $Q_{M\Sigma}$, то для тисків матимемо

$$P_1^2 - P_2^2 = \frac{1}{\frac{L_0}{L} \left(4 \frac{L_0}{L} - 6 \right) + 3} \left(P_n^2 - P_k^2 - (P_+^2 - P_-^2) \right) + \sqrt{\left(P_n^2 - P_k^2 - (P_+^2 - P_-^2) \right)^2 - \left[\frac{L_0}{L} \left(4 \frac{L_0}{L} - 6 \right) + 3 \right] \times \left[P_n^2 - P_k^2 - \left(\frac{L_0}{L} - 1 \right) (P_+^2 - P_-^2) \right]} \quad (2)$$

Різниця квадратів тисків на рухомій границі

ці

$$P_+^2 - P_-^2 = (2P_- + \Delta P)\Delta P, \quad (3)$$

де ΔP – перепад тисків на рухомій границі, який визначається величиною сили тертя S .

$$\Delta P = \frac{4S}{\pi d_M^2}. \quad (4)$$

Масова витрата газу

$$Q_M = W_- F_M \rho_-, \quad (5)$$

де W_- , ρ_- – лінійна швидкість та густина газу безпосередньо перед рухомих поршнем.

Очевидно, що лінійна швидкість газу у вказаному перерізі дорівнює швидкості руху поршня U . Тоді, виражаючи густину через тиск з рівняння стану, одержимо

$$P_+^2 - P_-^2 = \left(2 \frac{ZRT}{UF_M} Q_M + \Delta P \right) \Delta P. \quad (6)$$

Тепер для співвідношення масових витрат газу в магістралі до і після під'єднання лупінга одержимо

$$\frac{Q_{Mx}}{Q_{M0}} = \left\{ \frac{L_0/L}{\varphi_L} \left(1 + \frac{\chi_P}{P_n^2 - P_k^2} + \sqrt{1 + \frac{\chi_P \Delta P}{P_n^2 - P_k^2}} \right) - \varphi_L \left[1 - \left(\frac{L_0}{L} - 1 \right) \frac{\chi_P \Delta P}{P_n^2 - P_k^2} \right]^2 \right\}^{\frac{1}{2}}, \quad (7)$$

де

$$\varphi_L = \frac{L_0}{L} \left(4 \frac{L_0}{L} - 6 \right) + 3, \quad (8)$$

$$\chi_P = 2 \frac{ZRT}{UF_M} Q_M + \Delta P.$$

Одержане рівняння містить невідому масову витрату Q_M в правій і лівій частинах, тож в аналітичному вигляді розв'язане бути не може. Але воно легко може бути реалізоване методом ітерацій.

На основі викладеної методики розроблено алгоритм і складено програму розрахунку ступеня зменшення швидкості руху очисного поршня в залежності від роду технологічних параметрів та технічних характеристик поршня і газопроводу. За створеною програмою проведено ряд розрахунків, результати яких дозволяють зробити практично важливі висновки.

Найбільш сильний вплив на ступінь зниження швидкості руху поршня має довжина лупінга. Причому збільшення довжини лупінга призводить до зростання величини відношення U/U_0 . Іншими словами, з збільшенням довжини лупінга ступінь гальмування руху поршня зменшується. Цей, на перший погляд, парадоксальний висновок з фізичної точки зору пояс-

нюється тим, що при малих довжинах лупінга в момент його під'єднання різко змінюються величини тисків в точках під'єднання.

Збільшення діаметру лупінга призводить до зменшення відношення швидкостей U/U_0 , тобто умови гальмування руху покращуються. Цей висновок очевидний, однак при зміні діаметру з 1000 мм до 1400 мм відношення швидкостей U/U_0 зменшується на 1,28 % в той час, коли збільшення відносної довжини лупінга з 1,1538 до 1,4615 (тобто на 21 %) призводить до зростання вказаного співвідношення швидкостей на 27,8 %.

З параметрів режиму роботи газопроводу в період руху поршня оцінювався вплив початкового і кінцевого тисків на ступінь зменшення швидкості поршня. Встановлено, що зменшення початкового і збільшення кінцевого тисків призводить до зменшення співвідношення швидкостей U/U_0 , тобто до покращення умов гальмування. Так, при зменшенні початкового тиску з 7,6 до 6,8 МПа відношення швидкостей зменшується на 2 %, а при зростанні кінцевого тиску з 5,0 до 5,8 МПа вказане відношення зменшується на 1,28 %, отже зменшення початкового тиску більш ефективно, ніж збільшення кінцевого тиску.

Динаміка руху поршня оцінювалась перепадом тисків ΔP на рухомій границі. При збільшенні перепаду тисків ступінь зменшення швидкості знижується, тобто умови гальмування покращуються, що відповідає фізичним уявленням про картину процесу. Збільшення перепаду тисків з 0,05 МПа до 0,15 МПа (тобто в 3 рази) призводить до зменшення співвідношення швидкостей U/U_0 на 16,5 %.

Результати розрахунків у вигляді графіків наведено на рисунку 2.

Висновки

Запропонована методика дозволяє змоделювати регулювання руху поршнів на низхідних ділянках газопроводу з пересіченим профілем траси і підібрати таким чином параметри режиму, щоб досягнути заданого необхідного ступеня зменшення швидкості руху поршня в результаті регулювання.

Література

1. Трубопровідний транспорт газу / М.П. Ковалко, В.Я. Грудз, В.Б. Михалків та ін. Київ: Агентство з раціонального використання енергії та екології, 2002. 600 с.

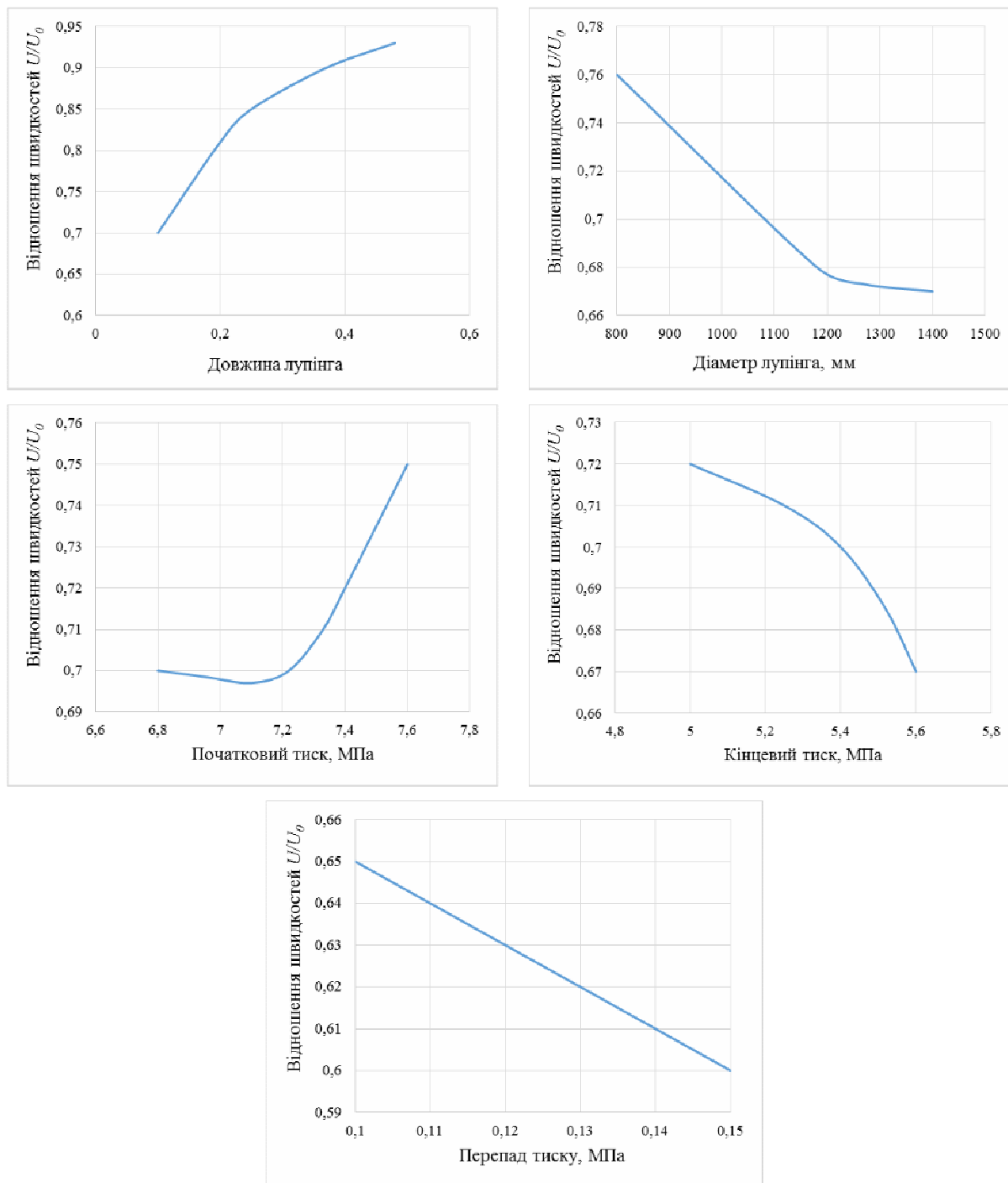


Рисунок 2 – Вплив факторів на зміну швидкості поршня

2. Мазур И.И., Иванцов О.М. Безопасность трубопроводных систем. М.: ИЦ «ЕЛИМА», 2004. 1104 с.

3. Грудз В.Я., Гимер Р.Ф. Эффективность очистки газопровода очистными устройствами разных конструкций. *Разведка и разработка нефтяных и газовых месторождений*. 1978. вып. 16.

4. Roth Neinz. Schwingungsmessungen an Turbinen-schaufln mit optischen Methoden Brown Boveri Mitt. 1977. 64, No 1. P. 64–67.

5. ANSI/ASME B31G – 1991 00-00/ Leitfaden zur Bestimmung der Restfestigkeit korrodierter Rohrleitungen / Enter 27/07/91/ New York, 1991. 98 p.

6. Грудз В.Я. Исследование эффективности очистных устройств в газопроводах с пересеченным профилем трассы: дисс. раб. ... к.т.н., Ивано-Франковск, 1980.

7. Калин С. И. Оценка эффективности участков сложных газотранспортных систем. *Разведка и разработка нефтяных и газовых месторождений*. 1989. Вып. 26.

8. Керування режимами газотранспортних систем / В.Я. Грудз, М.Т. Лінчевський, В.Б. Михалків та ін. К.: Укргазпроект, 1996. 140 с.

Preferences

1. Truboprovodnyi transport gazu / M.P. Kovalko, V.Ya. Grudz, V.B. Mihalkiv ta in. Kiyiv: Agentstvo z racionalnogo vikoristannya energiyi ta ekologiyi, 2002. 600 p. [in Ukrainian]

2. Mazur I.I., Ivancov O.M. Bezopasnost truboprovodnyh sistem. M.: IC «ELIMA», 2004. 1104 p. [in Russian]

3. Grudz V.Ya., Gimer R.F. Effektivnost ochistki gazoprovoda ochistnymi ustrojstvami raznyh konstrukcij. *Razvedka i razrabotka neftyanyh i gazovyh mestorozhdenij*, 1978.vyp. 16, [in Russian]

4. Roth Neinz. Schwingungsmessungen an Turbinen-schaufln mit optischen Methoden Brown Boveri Mitt. 1977. 64, № 1. P. 64–67. [in Russian]

5. ANSI/ASME B31G – 1991 00-00/ Leitfaden zur Bestimmung der Restfestigkeit korrodierter Rohrleitungen / Enter 27/07/91/. New York, 1991. 98 p.

6. Grudz V.Ya. Issledovanie effektivnosti ochistnyh ustrojstv v gazaprovodah s persechenym profilem trassy: diss. rab. ... k.t.n. Ivano-Frankovsk, 1980. [in Russian]

7. Kalin S. I. Ocenka effektivnosti uchastkov slozhnyh gazotransportnyh sistem. *Razvedka i razrabotka neftyanyh i gazovyh mestorozhdenij*. 1989. Vyp. 26. [in Russian]

8. Keruvannya rezhimami gazotrasportnih sistem / V.Ya. Grudz, M.T. Linchevskij, V.B. Myhalkiv ta in. K.: Ukrgazproekt, 1996. 140 p. [in Ukrainian]