

УДК 622

АДАПТИВНА МОДЕЛЬ РОЗПОДІЛУ РІДИННИХ СКУПЧЕНЬ В ГАЗОПРОВОДІ

Якимів М.М.

ADAPTIVE MODEL OF THE LIQUID ACCUMULATIONS DISTRIBUTION IN THE PIPELINE

Iakymiv M.M.

Розглядається задача про вплив кількості рідкої фази в газопроводі на зниження коефіцієнта гідравлічної ефективності. Подано результати аналітичних досліджень процесу перенесення високов'язких рідинних відкладень вздовж траси газопроводу і характеру формування відкладень рідини в його порожнині. Показано принцип реалізації задачі і використання її результатів. На основі отриманого аналітичного розв'язку і статистичних та експериментальних даних про розподіл високов'язких рідинних відкладень по довжині газопроводу і в часі створено адаптивну модель, яка дозволяє встановити залежність між характером розподілу відкладень і коефіцієнтом гідравлічної ефективності.

Показано на основі фактичних даних по експлуатації газопроводів «Союз», «Уренгой-Помари-Ужгород» та «Братерство» принцип прогнозування розподілу високов'язких відкладень в газопроводах, визначення їх об'єму і кореляцію з коефіцієнтом гідравлічної ефективності.

Ключові слова: гідравлічна ефективність, крапельна волога, рідинні відкладення, розподіл.

Вступ. Старіння магістральних газопроводів і їх систем з плином часу експлуатації з газодинамічної точки зору характеризується зростанням гідравлічного опору рухові потоку газу в трубах, що призводить до зменшення пропускної здатності газопроводу за рахунок випадання рідкої фази в порожнині труб. Джерелом поступлення рідинної фази в газопровід є сам потік газу. Для оцінки міри зниження пропускної здатності газопроводу в результаті росту гідравлічного опору труб загальноприйнято використовувати коефіцієнт гідравлічної ефективності [1,2].

Гідравлічна ефективність газопроводу пов'язана з кількістю рідини в порожнині газопроводу та з її розподілом по довжині ділянки, фізичними властивостями відкладень. Тому важливою задачею є задача про формування

відкладень у порожнині газопроводу в процесі його експлуатації.

Метою даного дослідження є створення математичної моделі перенесення крапельної вологи потоком газу і випадання крапель в порожнині газопроводу для встановлення характеру розподілу рідинних скупчень по довжині газопроводу і в часі.

Викладення основного матеріалу. Задача про дисперсію краплинної вологи по довжині ділянки газопроводу [2,3] тісно пов'язана з дослідженнями характеру і кількості відкладень у порожнині газопроводу.

Рівняння руху і зберігання маси виписуються окремо для кожного середовища, при цьому враховується їхній динамічний вплив один на одного шляхом введення сил взаємодії. Такий підхід до дослідження руху двох різних середовищ добре відомий і неодноразово використовувався в ряді робіт [1,2,3].

$$\begin{aligned} -F_1 \frac{\partial P}{\partial x} - T_1 + W &= 0 \\ -F_2 \frac{\partial P}{\partial x} - T_2 + W &= 0 \end{aligned} \quad (1)$$

Усереднена величина швидкості газу по перетині потоку знаходиться з принципу нерозривності

$$W = \frac{\int_0^R 2\pi r u W dy}{\pi(R^2 - r^2)} = U + \frac{2}{3} \frac{\tau r}{\eta} \left(\frac{R^3 / r^3 - 1}{R^2 / r^2 - 1} \right) \quad (2)$$

За аналогією з дійсним газовмістом у потоці двофазних середовищ позначимо відношення площі, зайнятої краплями рідини до загальної площі перетину через φ

$$\varphi = \frac{F_1}{F} \quad (3)$$

Реалізація запропонованої математичної моделі, зведеної до без розмірного вигляду, здійснюється графоаналітичним методом з введенням додаткової функції

$$\Phi(\varphi) = \varphi + \beta \varphi^{1/2} (1 - \varphi^{3/2}) \quad (4)$$

де

$$\beta = \frac{\lambda M r^2}{12 \alpha \eta d F}$$

Ця функція залежить від аргументу $0 < \varphi < 1$ і параметра $\beta < 1$ і змінюється в межах $0 < \Phi(\varphi) < 1$. В результаті в безрозмірній формі побудовано характер розподілу рідинних відкладень по довжині газопроводу.

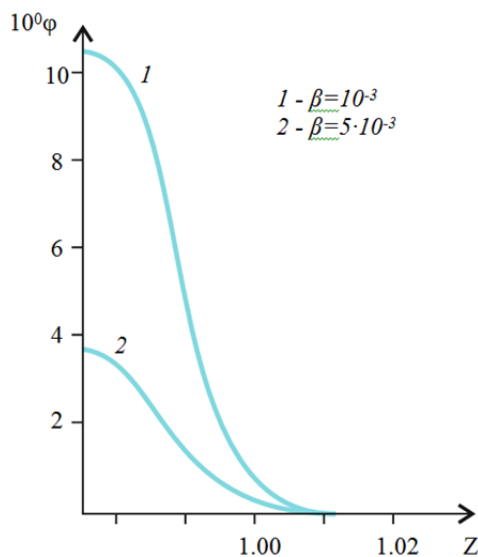


Рис. 1. Характер розподілу рідинних відкладень по довжині газопроводу в безрозмірній формі

Аналіз побудованих кривих показує залежність функції від параметру β . Який по суті характеризує гідравлічний опір потоку двофазної системи в трубі. Зі збільшенням параметра β зменшується максимальний розмір відносної площі, зайнятої краплями рідини на початку газопроводу (при $z = 0$). Зі зменшенням параметра β зростає крутість кривої залежності $\varphi = \varphi(z)$. Це значить, що зі зменшенням параметра β інтенсивність випадання крапель у газопроводі зростає. Аналізуючи структуру параметру β можна сказати, що зі зменшенням коефіцієнта гідравлічного опору

інтенсивність випадання крапель у газопроводі збільшується.

Характеристика потоку φ являє собою відношення площі поперечного перерізу труби, яку займає рідка фаза (краплі) до загальної площі живого перерізу, тобто її можна розглядати як безрозмірну насиченість потоку краплями рідини. Зменшення характеристики φ можна розглядати як процес випадання рідкої фази в порожнині газопроводу.

Параметр z в безрозмірній формі представляє просторово-часову характеристику двофазного потоку. Тому залежність $\varphi = \varphi(z)$ при $\beta = \text{const}$ можна трактувати як безрозмірну функціональну залежність процесу осідання рідинних крапель в порожнині газопроводу.

В [2] побудовано на основі фактичних вимірювань на реальних газопроводах залежності товщини відкладень від лінійної координати ділянки газопроводу і часу, які у вигляді графіків подано на рисунку 2.

Порівняння тенденцій залежності обсягу рідинних відкладень в газопроводі, отриманих на основі аналітичних залежностей та фактичних даних свідчать про спів падання їх характеру. В зв'язку з сказаним проведені аналітичні дослідження дозволять створити теоретичні засади процесу відкладання рідинних скупчень в порожнині газопроводу.

З погляду дослідження ефективності особливий інтерес представляє вплив на характер процесу переносу потоком газу крапель рідини величини коефіцієнта гідравлічного опору газопроводу. В початковий момент експлуатації газопроводу (після очищення порожнини) коефіцієнт гідравлічного опору має мінімальне значення, внаслідок чого величина параметра β мінімальна. З цього випливає, що в потоці знаходиться максимальна кількість крапель рідини і інтенсивність їх випадання найбільша. Тому рідкі скупчення утворюються в початковій ділянці газопроводу. Внаслідок цього величина коефіцієнта гідравлічного опору зростає, що призводить до збільшення параметра β . Тому кількість рідини в потоці зменшується і знижується інтенсивність випадання крапель рідини. Проте при цьому краплі рідини переносяться на більшу відстань від початку газопроводу.

Товщина відкладень як функція відстані і часу носить експоненційний характер, причому із збільшенням часу експлуатації газопроводу товщина відкладень зростає, а з збільшення віддалі від КС зменшується. У зв'язку з цим в [2] було запропоновано наступну математичну модель залежності товщини відкладень від відстані і часу

$$h = h_0 \exp(-a \bar{x} + b \bar{t}), \quad (5)$$

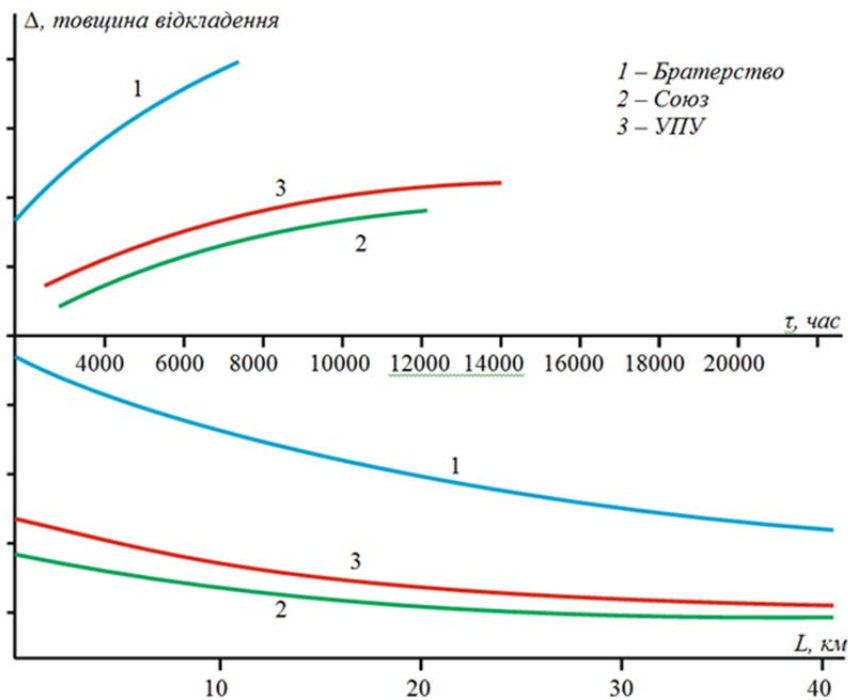


Рис. 2. Характер розподілу рідинних відкладень в газопроводі по довжині і в часі

де h_0 - максимальне значення товщини відкладень на початку газопроводу;

\bar{x} , \bar{t} - відносні значення лінійної координати і часу

$$\bar{x} = x / L \quad \bar{t} = t / T,$$

L - відстань між КС (довжина ділянки)

T - період експлуатації газопроводу.

Очевидно, що графічні залежності, подані на рисунках 1 і 2, повинні бути ідентичними, оскільки описують один і той ж характер розподілу відкладень по довжині газопроводу і в часі. Характер формування графічних залежностей, побудованих на основі реалізації математичної моделі визначається параметром β , а емпіричної залежності (5) – коефіцієнтами а і b, причому коефіцієнт а характеризує розподіл відкладень по довжині газопроводу, а коефіцієнт b – в часі. Тому між параметрами β і b повинен існувати взаємозв'язок.

Для встановлення зв'язку між аналітичними і експериментальними параметрами пропонується наступний алгоритм адаптації.

Вважається відомим характер розподілу рідинних скупчень по довжині газопроводу для певного моменту часу t_l . Він може бути побудованим на основі фактичних даних, або за залежністю (5). У відповідності до заданого розподілу товщини відкладень по довжині кожному значенню лінійної координати x_1, x_2, \dots, x_i ставиться у відповідність набір товщин відкладень h_1, h_2, \dots, h_i .

Задаємо довільним значенням величини параметру β_0 і розв'язуємо аналітично поставлену

задачу. В результаті отримаємо аналітичний розподіл товщини відкладень по довжині ділянки газопроводу, результатом якого є відповідність значенням координат x_1, x_2, \dots, x_i певних розрахункових товщин відкладень y_1, y_2, \dots, y_i , які в ідеальному випадку повинні бути рівними дослідним значенням товщин відкладень h_1, h_2, \dots, h_i . Однак, внаслідок довільного вибору величини параметра β_0 і відхилення між теоретичними і фактичними значеннями прогнозного параметра рівності $h_i = y_i$, для всіх значень i досягнути неможливо. Тому визначається середньоквадратичне відхилення

$$S^2 = \sum_{i=1}^n (y_i - h_i)^2 \quad (6)$$

Для адаптації теоретичних результатів пропонується використати метод конкуруючих варіантів. З цією метою надаємо певний приріст величині параметру β

$$\beta_j = \beta_0 + \delta \beta \quad (7)$$

Використавши значення параметра β_j , за математичною моделлю будемо аналітичний закон розподілу товщини відкладень по довжині газопроводу і за (6) обчислюємо величину середньоквадратичного відхилення S_j . Якщо величини середньоквадратичного відхилення змінилася в сторону зростання, то в (7) знак поправки $\delta \beta$ змінюємо на протилежний і процедуру повторюємо.

Наступним кроком знаходимо середньоквадратичне відхилення S_{j+1} при значенні параметра β_{j+1} . Якщо спостерігається нерівність $S_{j+1} < S_j$, то виконуємо наступний крок адаптації до досягнення нерівності $S_{j+1} > S_j$, після чого процедура припиняється. В результаті найбільш точного спів падання теоретичних значень з фактичними отримуємо значення параметра β_a , яке відповідає адаптації теоретичного закону розподілу відкладень до фактичних умов.

Вся процедура адаптації може бути проведена для різних моментів часу експлуатації газопроводу, в результаті чого отримаємо залежність параметра β_a від часу.

Адаптивна модель розподілу відкладень по довжині газопроводу і в часі дозволяє отримати реальний закон розподілу, який базується на фізичних уявленнях про процес переносу крапельної рідини потоком газу. Тому розрахований за приведеним алгоритмом адаптивний параметр β_a можна представити аналітичною залежністю (4). Тоді можна знайти фактичне значення коефіцієнта гідравлічного опору газопроводу λ , якщо відома масова витрата газу M і характеристики газопроводу і газу, а, значить, розрахувати коефіцієнт гідравлічної ефективності газопроводу і побудувати характер його зміни в часі.

Розрахунки прогнозу гідравлічної ефективності проводились на основі приведеної вище методики, згідно з якою для кожного моменту часу визначався параметр β_a . З цією метою використовувалася емпірична модель розподілу відкладень по довжині газопроводу у фіксований момент часу на основі фактичних даних вимірювання товщини відкладень в порожнині газопроводу.

Зауважимо, що отримане таким чином значення коефіцієнта гідравлічної ефективності відрізняється від її величини для повної ділянки газопроводу, оскільки розрахунки проведено тільки для початкових ділянок траси, на яких спостерігається наявність високов'язких відкладень. Решта ділянки газопроводу має суттєвий вплив на величину коефіцієнта гідравлічної ефективності в зв'язку з тим, що вона має суттєво більшу довжину з наявністю маловязких рідинних скупчень, які в газопроводі виконують роль місцевих опорів і викликають значну втрату енергії газового потоку.

Перевагою запропонованого методу аналізу відкладень в газопроводах і прогнозу їх гідравлічної ефективності є можливість аналітично зв'язати величину коефіцієнта гідравлічної ефективності з об'ємом рідинних високов'язких відкладень в порожнині газопроводу.

Отримані залежності в комплексі з моделлю розподілу товщини відкладень у вигляді розв'язку аналітичної моделі та моделі (5) дозволяють обчислити об'єм високов'язких відкладень в порожнині газопроводу

$$V = 2 \int_0^L \left(\int_0^{p/4} y(s) ds \right) h(x, t) dx \quad (8)$$

де L – довжина ділянки газопроводу з високов'язкими рідинними відкладеннями;

p – довжина кола внутрішньої поверхні газопроводу

Результати досліджень. Розрахунки за приведеною методикою дозволили визначити об'єми високов'язких відкладень в порожнині газопроводів «Союз», «Уренгой-Помари-Ужгород» та «Братерство» на початкових ділянках траси після компресорних станцій «Богородчани» і «Долина». Результати розрахунків приведені в таблиці.

Таблиця

Результати розрахунку об'єму відкладень в газопроводах

Об'єм відкладень, куб.м				
Газопровід	За (3.12)	За (3.14)	Розбіжність, %	Гідравлічна ефективність
Союз	18,01404	17,958763	0,308	0,878
УПУ	14,56525	14,132431	3,015	0,899
Братерство	29,31981	28,887651	1,485	0,857

Результати розрахунків показують хорошу збіжність отриманих значень кількості відкладень на основі теоретичних і емпіричних методів.

В таблиці 1 приведено також значення коефіцієнта гідравлічної ефективності, розраховані для початкових ділянок траси газопроводів на основі теоретичних досліджень. Аналіз співставлення значень об'ємів високов'язких відкладень в порожнині трубопроводів та коефіцієнтів гідравлічної ефективності свідчить про їх задовільну кореляцію, що підтверджує достовірність результатів.

Висновки:

1. Поставлена і розв'язана задача процесу перенесення крапельної вологи потоком газу вздовж осі трубопроводу дозволила отримати аналітичну залежність розподілу рідинних відкладень по довжині газопроводу для початкових ділянок траси, які прилягають до компресорної станції.

2. На основі отриманого аналітичного розв'язку і статистичних та експериментальних даних про розподіл високов'язких рідинних відкладень по довжині газопроводу і в часі створено адаптивну модель, яка дозволяє встановити залежність між характером розподілу відкладень і коефіцієнтом гідравлічної ефективності.

3. Показано на основі фактичних даних по експлуатації газопроводів «Союз», «Уренгой-Помари-Ужгород» та «Братерство» принцип прогнозування розподілу високов'язких відкладень в газопроводах, визначення їх об'єму і кореляцію з коефіцієнтом гідравлічної ефективності.

Література

1. Бобровский С. А. Движение газа в газопроводе с путевым отбором/ С.А. Бобровский, С.Г. Щербаков, М.А. Гусейнзаде – М.: Наука, 1972. – 193 с.
2. Грудз В.Я. Обслуговування і ремонт газопроводів/В.Я. Грудз, Д.Ф.Тимків, В.Б. Михалків та ін. //Івано-Франківськ, Лілея-НВ, 2009 – 710с.
3. Щербаков С.Г. Проблемы трубопроводного транспорта нефти и газа.М.: Наука1982 – 205 с.
4. Яковлев Е.И. Анализ неустановившихся процессов в нитках магистрального газопровода статистическими методами/Е.И. Яковлев // Изв.вузов. Нефть и газ. – 1968. – № 2. – С.72–76.

References

1. Bobrovskiy, S.A. Sherbakov, S.G. Guseinadze, M.A. (1972), Dvizhenie gaza v gazoprovode s putevim otborom [The gas flow with the track extraction], Nauka, Moscow, Russia.
2. Grudz, V.I. Tumkiv, D.F. Mikhalkiv, V.B. (2009), Obslugovuvannya i remont gazoprovodiv [The maintenance and repair of the gas pipelines], Lileya, Ivano-Frankivsk, Ukraine.
3. Sherbakov, S.G. (1982), Problemi truboprovodnogo transporta nefiti i gaza [The problems of the gas and oil pipeline transport], Nauka, Moscow, Russia.
4. Iakovlev, E.I. (1968), Analiz neustanovivshihysya protsessov v nitkah magistralnogo gazoprovoda statisticheskimi metodami [Statistical methods analysis of transient processes in the gas pipeline], Oil and Gas issue # 2, 1968. – pp. 72-76.

Якимів Н.М. Адаптивная модель распределения жидкостных скоплений в газопроводе

Аннотация. Рассматривается задача о влиянии количества жидкой фазы в газопроводе на снижение коэффициента гидравлической эффективности. Представлены результаты аналитических исследований процесса переноса капель жидкости вдоль трассы газопровода и характера формирования отложений жидкости в его полости. Показан принцип реализации задачи и использования ее результатов. На основе полученного аналитического решения и статистических и экспериментальных данных о распределении высоковязких жидких отложений по длине газопровода и во времени создано адаптивную модель, которая позволяет установить зависимость между характером распределения отложений и коэффициентом гидравлической эффективности. Показано на основе фактических данных по эксплуатации газопроводов

«Союз», «Уренгой-Помары-Ужгород» и «Братство» принцип прогнозирования распределения высоковязких отложений в газопроводах, определения их объема и корреляцию с коэффициентом гидравлической эффективности.

Ключевые слова: гидравлическая эффективность, капельная влага, жидкостные отложения, распределение.

Iakymiv M.M. Adaptive model of the liquid accumulations distribution in the pipeline

Abstract. Conducted an analytical study of the liquid deposits distribution nature along the gas pipeline route. This research main goal is to determine the liquid phase amount influence in the gas pipeline onto the Gas Transmission System hydraulic efficiency overall and consequently, onto the hydraulic efficiency coefficient reduction in particular.

In the given article conducted abovementioned analytical researches and compared to the experimental data results, illustrated in the references for the gas pipeline transport. As a result, found out positive convergence of the projected and actual results, and generally their influence onto the hydraulic efficiency coefficient reduction.

Based on the analytical solution, statistical and experimental data on the distribution of the high liquid deposits along the length of the pipeline and in time created an adaptive model that allows us to establish the relationship between the nature of the distribution of sediments and hydraulic efficiency coefficient.

Shown based on actual data on the linear gas pipelines "Soyuz", "Urengoy-Uzhgorod-Pomary" and "Braterstvo" the principles of predicting the high sediment distribution pipelines, determining their volume and correlation with the coefficient of hydraulic efficiency.

This study results are important to take into consideration for the gas transmission operating companies. The output of the found out patterns might allow increasing the Gas Transmission System hydraulic efficiency coefficient. Demonstrated task implementation principles and its results application.

Key words: hydraulic efficiency, drop moisture, liquid deposits, distribution.

Якимів Микола Мирославович, здобувач, Івано-Франківський національний технічний університет нафти і газу, m.iakymiv@googlegmail.com

Рецензент: Суворін О.В. – д.т.н., доцент.

Стаття надана 29.11.2014