

УДК 622.691.4.004.67

СТАТИСТИЧНИЙ АНАЛІЗ І ДИНАМІКА ЗМІНИ ЕФЕКТИВНОСТІ РОБОТИ ГАЗОТРАНСПОРТНИХ СИСТЕМ

¹ Д.Ф.Тимків, ² В.Г.Франчук, ³ О.М.Шеремет

¹ ІФНТУНГ, 76019, м. Івано-Франківськ, вул. Карпатська, 15, тел. (03422) ,
e-mail: public@nung.edu.ua

² ВАТ "Укрнафта", 04053, м. Київ, Нестерівський проволоч, 3-5
e-mail: Franchuk@ukrnafta.com

³ Дніпропетровське лінійне виробниче управління магістральних газопроводів,
49035, м. Дніпропетровськ, Криворізьке шосе, 24

В данной статье рассматриваются методы создания технологической модели адекватно описывающей процесс очистки полости газопровода, сделано анализ существующих статистических моделей. Исследуется влияние температуры грунта в разные периоды работы, создана математическая модель гидравлической эффективности для систем магистральных газопроводов. Доказано, что температура является критерием внутренней энергии газового потока, давление и скоростной напор – критерием механической, а коэффициент эффективности работы газопроводов указывает на снижение энергоёмкости замкнутой системы в результате преобразования механической энергии газового потока в тепловую.

In the given article the methods of creation of technological model of a cavity, adequately depicting a purification process, of the gas pipeline are esteemed, the analysis of existing statistical models is made. The temperature effect of a soil in the miscellaneous seasons (terms) of activity is investigated (studied), the mathematical model of hydraulic efficiency for systems of gas mains is built. It is demonstrated, that temperature is yardstick of an internal energy of a gas stream, and pressure and drag - yardstick mechanical, and effectiveness ratio indicates robots of gas pipelines a decrease of energy output of a loop system as a result of transformation (conversion) of mechanical energy of a gas stream in thermal.

Газотранспортна система України містить понад 20 тисяч кілометрів лінійних ділянок газопроводів, час експлуатації яких часто перевищує половину сторіччя. Унаслідок неефективного очищення і осушення газу перед транспортуванням і нераціональних режимів експлуатації систем газопостачання, коефіцієнт гідравлічної ефективності окремих ділянок системи знаходиться на низькому рівні. Це знижує пропускну спроможність системи, і, що особливо важливо в даний час, істотно підвищує витрати енергоносіїв на перекачування газу. У зв'язку з цим проблема підвищення ефективності газотранспортної системи України стає дуже актуальною.

Серед відомих і вживаних на практиці методів підвищення ефективності роботи газотранспортних систем найбільш ефективними є методи очищення порожнини газопроводів із застосуванням очисних пристроїв. Проте, практика експлуатації і обслуговування магістральних газопроводів показала, що в умовах роботи наших газотранспортних систем такі методи дають змогу підвищити ефективність не більше, ніж на 3-5%, що не може задовольнити вимоги ефективної їх експлуатації. Збільшення періодичності проведення процесу очищення призведе до додаткових витрат і, зрештою, не дозволить вирішити проблему.

У зв'язку з викладеним, виникає необхідність для аналізу і прогнозу технологічних процесів використовувати статистичні моделі, які

спираються на параметри реальних технологічних процесів як на початкову інформацію [1].

Магістральний газопровід з погляду газодинамічних процесів, що в ньому відбуваються, є складною системою. Велика протяжність лінійних ділянок призводить до того, що визначення кількості рідини і розподіл її по довжині може розглядатися тільки як стохастичний процес. Тому складний процес сумісного руху рідкої і газової фази у детермінованій формі, практично не реалізований. У зв'язку з цим визначення коефіцієнта гідравлічної ефективності газопроводу навіть на підставі детермінованих математичних моделей слід розглядати як стохастичний процес, оскільки розрахунки спираються на статистичний вхідний матеріал.

Початок дослідженням ефективності роботи газопроводів покладено Ходановичем І.Е., у роботах якого наводиться методика дослідження ефективності роботи магістральних газопроводів. Великий теоретичний матеріал у плані дослідження ефективності представляють роботи Мамаєва В.А., Гужова А.Н., Клапчука О.І., присвячені вивченню руху двофазних потоків у трубах. У експериментальних дослідженнях Гусейнова Ч.А. показано вплив скупчень рідини на гідравлічний опір газопроводу. Дослідження динаміки зміни ефективності в часі, а також розробка методів і засобів її підвищення, наведені в роботах Капцова І.І., Тоуга А.І., Грудза В.Я., Тимківа Д.Ф., Клімовського Е.І., Шварца М.Е.

Перераховані дослідження підводять теоретичну основу під проблему ефективності роботи газопроводів і методів витіснення рідини з внутрішньої порожнини труб. Результати теоретичних досліджень знайшли експериментальне підтвердження в умовах лабораторних і напівпромислових стендів. Проте, в практиці експлуатації реальних газопроводів, не дивлячись на задовільну подібність якісних показників і деяких кількісних співвідношень, є істотні розбіжності з експериментальними даними.

Такі розбіжності можуть бути пояснені тільки неврахуванням ряду чинників у реальних умовах, які або не піддаються точному визначенню, або не враховуються внаслідок спрощення моделі.

У зв'язку з викладеним вище, використання статистичних методів досліджень ефективності роботи газопроводів будуть корисними в практиці експлуатації газотранспортних систем.

Визначення коефіцієнта гідравлічної ефективності і динаміки його зміни в часі проводилося в рамках довгострокового і багатотривалого виробничого експерименту, який виконувався на ділянках газопроводів "Братерство", "Союз", "Уренгой-Помари-Ужгород", "Прогрес", що експлуатуються УМГ "Прикарпаттрансгаз". Для розрахунку коефіцієнта гідравлічної ефективності використовувалася методика, що базується на математичних моделях стаціонарного перебігу газу в трубах. Коефіцієнт гідравлічної ефективності визначався співвідношенням

$$E = \sqrt{\frac{\lambda_t}{\lambda_\phi}} \quad (1)$$

Теоретичне значення коефіцієнта гідравлічного опору визначалося на основі формули ВНДгазу.[2]

$$\lambda_t = 0.067 \left(\frac{158}{R_e} + \frac{2K_e}{d} \right)^{0,2} \quad (2)$$

Фактичне значення коефіцієнта гідравлічного опору визначалося на основі результатів вимірювань за формулою

$$\lambda_\phi = \frac{(0.326 \cdot 10^{-6})^2 d^5 (P_n^2 - P_k^2)}{\Delta \cdot Z_{cp} \cdot T_{cp} \cdot L \cdot Q^2} \quad (3)$$

Початкові дані вибиралися з картограм запису параметрів газового потоку на компресорних станціях приладами спеціально встановленими з метою проведення експерименту. Клас точності манометрів на початку і в кінці лінійної ділянки складав 1,0, клас точності діафрагмових витратомірів складав 1,0 за тиском і 1,5 за перепадом.

Розрахунки коефіцієнтів гідравлічної ефективності виконувалися за вихідними даними, які відповідають стаціонарному режиму роботи газопроводу. Для цієї мети визначалося значення критерію нестационарної [3]

$$N_2 = \frac{\delta Q \cdot d}{\lambda w \cdot \tau} \quad (4)$$

де: δQ – відносна зміна витрати за час τ
 W – середня усереднена швидкість руху газу в трубопроводі діаметром d

$$W = \frac{Q_{cp}}{\pi d^2} \frac{P_o}{P_{cp}} \frac{T_{cp}}{T_o} Z_{cp} \quad (5)$$

де: Q_{cp} – середня за час τ об'ємна витрата газу

$$Q_{cp} = \frac{1}{\tau} \int_0^\tau Q d\tau \quad (6)$$

P_{cp} , T_{cp} – середні за довжиною значення тиску і температури

P_o , T_o – тиск і температура для стандартних умов.

Для визначення середньої температури T_{cp} і коефіцієнта стисливості газу за середніх температур і тиску, виконувалися вимірювання температури T_n на початку кожної лінійної ділянки і T_k у кінці. Вимірювання виконувалися за допомогою урівноважених мостових схем. Як первинний перетворювач, використовувався стандартний термометр опору МТЛ. Середня температура визначалася за результатами вимірів за формулою

$$T_{cp} = T_{gp} + \frac{T_n - T_k}{\ln \frac{T_n - T_{gp}}{T_k - T_{gp}}} \quad (7)$$

де T_{gp} – температура ґрунту в непорушеному тепловому стані.

Для визначення середньої по трасі температури ґрунту в непорушеному тепловому стані проводилися її вимірювання в різних точках траси і на різних глибинах. Для цієї мети на різних відстанях від осі трубопроводу (5 м, 50 м) пробурювалися вимірювальні свердловини, в яких на різних глибинах (1,8 м і 3,6 м) постійно знаходилися шкальні ртутні термометри з теплоізолюваним балоном. Покази термометрів знімалися впродовж трьох років.

На основі одержаних даних побудовані статистичні графічні залежності температури ґрунту залежно від календарної пори року.

Їх аналіз показує, що на глибині закладення осі трубопроводу температура ґрунту в непорушеному тепловому стані протягом року змінюється в межах від 2,9°C до 13,5°C. При цьому мінімум температури характерний для березня місяця, а максимум для вересня. Порівняно з характером зміни температур повітря спостерігається запізнювання приблизно на 60 днів, яке пояснюється теплопровідністю ґрунту і великою інерційністю системи. Діапазон зміни температури ґрунту на глибині залягання трубопроводу складає від 8% до 14%. Це значить, що сезонні зміни температури слід враховувати в розрахунках ефективності роботи газопроводу. Неврахування сезонних змін температури

грунту призведе до збільшення випадкової похибки у визначенні коефіцієнта ефективності згідно з розрахунками на 1,5-2%.

Зміна ефективності роботи одноступінчатих газопроводів у часі може бути описана експоненціальною залежністю вигляду

$$E = E_0 \exp(-\alpha t). \quad (8)$$

При цьому слід відзначити, що на різних ділянках і в різний період часу темп падіння ефективності приблизно однаковий, що говорить про постійність для конкретного газопроводу коефіцієнту старіння α .

Система паралельних газопроводів "Союз" і "Уренгой-Помари-Ужгород", а також газопровід "Братерство", експлуатуються зі значним недовантаженням, особливо в літній період. Гідравлічна ефективність газопроводів у цей період зростає. Наявність рідких скупчень у трубах призводить до зниження гідравлічної ефективності в часі. У зимовий період завантаження систем зростає, що призводить до перерозподілу рідини між паралельними нитками і до зниження гідравлічної ефективності. Подальше зниження продуктивності у весняний період приводить систему в первинний стан. Необхідно відзначити, що, якщо система складається з двох паралельних ниток однакового діаметра (як система газопроводів "Союз" і "Уренгой-Помари-Ужгород"), то рідина завжди витісняється в нитку, ефективність якої нижча. Цей висновок підтверджується спостереженнями на дослідному стенді і розрахунками гідравлічної ефективності газопроводів "Союз" і "Уренгой-Помари-Ужгород" у зимовий період часу.

Регресивний аналіз статистичних даних показав, що з достатньою точністю характер зміни ефективності в часі для систем магістральних газопроводів може бути представлений у вигляді рівняння виду:

$$E = E_0 e^{-\alpha t} \cdot (\cos \beta t + \sin \beta t). \quad (9)$$

Числові значення коефіцієнтів старіння α і β , а також початкової ефективності E_0 для вказаних газопроводів і систем, визначені на основі обробки даних статистичної інформації.

Розрахунки показують, що для систем паралельних газопроводів коефіцієнти старіння α і β слабо залежать від ділянки системи і мало змінюються в часі. Очевидно, що ці параметри певним чином залежать від кількості рідини в порожнині газопроводів, режиму експлуатації газопроводу і кондиції газу, що подається в систему.

Щоб побудувати кореляційну залежність коефіцієнта гідравлічної ефективності і об'єму рідини в порожнині газопроводу проводилися розрахунки для визначення кількості рідини в газопроводах. Як початкові дані використовувалися об'єм рідини, що виносить очисним пристроєм ΔW , та коефіцієнти ефективності до E_a і E_n після очищення. При цьому передбачалося, що на кожен відсоток зниження ефективності припадає однаковий об'єм рідини в

порожнині газопроводу. Кореляційна залежність між об'ємом рідини в порожнині газопроводу має вигляд

$$\Delta W = k \cdot v \cdot (1 - E^x), \quad (10)$$

де: ΔW , v – об'єм рідких накопичень і геометричний об'єм газопроводу відповідно;

E – коефіцієнт гідравлічної ефективності;

k , x – коефіцієнти, що підлягають визначенню.

Записуючи зведену модель для умов до і після очищення, одержуємо рівняння для визначення коефіцієнтів k і x

$$\Delta W = k \cdot v (E_n^* - E_a^*), \quad (11)$$

Використовуючи одержане рівняння в комплексі з методом найменших квадратів, можна одержати чисельні значення коефіцієнтів k , x і потім визначити об'єм рідини в порожнині газопроводу. Розрахунки показують, що величина показника ступеня x для різних газопроводів і різних умов експлуатації однакова. Він має значення $x = 0.8$. Величина коефіцієнта k істотно залежить від особливостей газопроводу і умов його експлуатації.

Кореляція коефіцієнта гідравлічної ефективності з кількістю рідини в газопроводі припускає постійність (з деяким ступенем надійності) гідравлічної ефективності впродовж невеликого проміжку часу, оскільки об'єм рідких скупчень і характер їх розподілу по довжині ділянки протягом доби змінитися не може. Проте, розрахунки показують, що значення коефіцієнта гідравлічної ефективності може істотно змінитися (на величину до 50%) протягом декількох годин. Крім того, для нового газопроводу або після ретельного очищення значення коефіцієнта гідравлічної ефективності не досягає 100%, навіть для вимірювань в умовах стаціонарного режиму. Це значить, що математична модель для визначення ефективності не враховує всіх видів енергетичних втрат. Тому, для оцінки ступеня впливу теплових енергетичних втрат проводилися статистичні дослідження на реальних режимах роботи газопроводів "Братерство", "Союз" і "Уренгой-Помари-Ужгород".

Згідно з законами класичної газової динаміки, температура і тиск є мірами енергії газового потоку. При цьому температура є критерієм внутрішньої енергії газового потоку, а тиск і швидкісний напір – критерієм механічної. Згідно із законом збереження і перетворення енергії дисипація будь-якого його вигляду призводить до втрати загальної енергомісткості замкнутої системи.

Коефіцієнт ефективності роботи газопроводів вказує на зниження енергоємності замкнутої системи (газового потоку) в результаті перетворення механічної енергії газового потоку в теплову, і подальших тепловтрат у навколишнє середовище.

Таким чином, величина теплопередачі від газового потоку в навколишнє середовище для

магістрального газопроводу тісно пов'язана з коефіцієнтом ефективності роботи газопроводу.

Література

1. Тихонов А.Н., Самарский А.А. Уравнение математической физики. – М.: Наука, 1966.
2. Планирование эксперимента при поиске оптимальных условий: Программированное введение в планирование эксперимента / Ю.П.Адлер, Е.Б.Леаркова, Ю.В. Грановский. – М.: Наука, 1971. – 263 с.
3. Тымкив Д.Ф., Грудз В.Я., Манько Б.З. Оптимизация процесса очистки полости магистрального газопровода // Разведка и разработка нефтяных и газовых месторождений: Респ. межвед. науч. сб. – 1986. – Вып. 23.