

ПРОГРАМУВАННЯ РОЗРАХУНКУ РЕЖИМІВ РОБОТИ СКЛАДНОЇ ГАЗОТРАНСПОРТНОЇ СИСТЕМИ

М. В. Крихівський, Д. Ф. Тимків, Я. В. Кишимишин

*Івано-Франківський національний технічний університет нафти і газу;
76019, м. Івано-Франківськ, вул. Карпатська, 15;
тел. +380 (342) 72-71-33; e-mail: public@iung.edu.ua*

Наведено принципи програмування розрахунку складної газотранспортної системи. Запропоновано інформаційну технологію оптимізації режимів роботи за критерієм мінімізації необхідної потужності компресорних станцій, в якій використовуються математичні моделі, що дозволяє визначити оптимальні технологічні показники.

***Ключові слова:** розрахунок режимів, магістральний газопровід, компресорна станція, підземне сховище газу, оптимізація.*

Вступ. Газотранспортна система (ГТС) України складається [1] з 37,6 тисяч км газопроводів різного призначення та продуктивності, 73 компресорних станцій з 110 компресорними цехами, де встановлено 703 газоперекачувальні агрегати загальною потужністю 5,4 тисяч МВт, 1607 газорозподільних станцій, 13 підземних сховищ газу та об'єктів інфраструктури. На сході вона спроможна прийняти до 290 млрд м³/рік, а передати до 175 млрд м³/рік природного газу, в т.ч. 140 млрд. м³ – до країн Західної та Центральної Європи. Складність експлуатації ГТС пов'язана з неповним її завантаженням, необхідністю використання реверсних режимів і можливими змінами в структурі. Тому доцільним є розробка методів оптимізації режимів її роботи, що використовують обчислювальну техніку.

Газотранспортна система постійно працює в нестаціонарному режимі [2], що зумовлює змінність її паливно-енергетичних затрат. Ці затрати є значними і тому важлива її робота в режимах, близьких до оптимальних. Оптимальна робота газотранспортної системи пов'язана з багатьма факторами: наявністю достатнього об'єму акумульованого газу в трубопроводах та підземних газосховищ (ПСГ), сезонністю роботи газосховищ, нерівномірністю відборів з системи та надходження в систему газу тощо. Вагомим фактором є людський. Вчасне прийняття рішення про зміну режиму транспортування газу може дати значний економічний ефект. Для швидкого оцінювання діючого режиму, за наявності певного прогнозу на параметри газу на його входах та виходах, потрібно мати заздалегідь проведені дослідження на встановлення ділянки оптимальної роботи магістральних газопроводів (МГ). Зазвичай прогнози справджуються далеко не повною мірою. І тому ділянка оп-

тимальності повинна формуватися з використанням мінімальної інформації, в умовах існування невизначеності.

Формулювання завдань. Розрахунок режимів роботи складної ГТС важко піддається математичній формалізації. Тому актуальним є проведення досліджень для підвищення ефективності використання інформаційних технологій з застосуванням комп'ютерів для вирішення проблем управління складними ГТС. Задача оптимального управління режимами магістральних газопроводів з використанням підземних сховищ газу (ПСГ) відноситься до класу багатокритеріальних.

Пропускна здатність складної системи газопроводів як функція параметрів режиму є основним виробничим показником, який характеризує ступінь використання газопроводів за призначенням. Складна газотранспортна система містить ряд газопроводів, що утворюють лінійну частину, та ряд компресорних станцій, які в сукупності представляють послідовно та паралельно з'єднані ланки, і від характеристик яких залежить величина пропускної здатності.

Для складних газотранспортних систем задача значно ускладнюється, оскільки кожна лінійна ділянка характеризується своїм значенням пропускної здатності, а продуктивність кожної з компресорних станцій, що залежить від їх основного обладнання, схеми та параметрів режиму роботи, повинна відповідати пропускній здатності системи.

Аналітичні дослідження показують, що подальший розвиток складних газотранспортних систем в Україні повинен бути направлений на збільшення пропускної здатності системи газопроводів з використанням підземних сховищ газу. Крім того необхідне впровадження прогресивних технологій, експлуатації технологічного обладнання, впровадження інформаційно-керуючих систем на основі сучасних програмно-технічних комплексів, керованих механізмів, нового обладнання, систем телеметричного контролю параметрів роботи устаткування, а також якісних і обґрунтованих математичних моделей для технологічних розрахунків різних варіантів режимів роботи газопроводів для їх раціональної експлуатації.

Отримані результати. Структуру ГТС пропонується описати неорієнтованим графом, вершинами якого будуть компресорні станції, а ребрами газопроводи. Відношення інцидентності графа з метою використання інформаційних технологій задамо списком ребер графа [3]. Кожний рядок цього списку відповідає ребру, в ньому записано номери вершин, інцидентних йому.

Для стратегічного планування експлуатації в оптимальних режимах протягом року необхідно мінімізувати затрати на транспортування газу, що пропорційні використаній потужності компресорних станцій. Важливим фактором з точки зору можливості алгоритмізації такого планування є дискретизація технологічних параметрів ГТС. Що меншим буде часовий інтервал необхідних розрахунків (наприклад, годи-

на), то більшими будуть обсяги алгоритмічних операцій. Пропонується обрати таким інтервалом добу, що передбачає забезпечення сталих режимів протягом 24 год.

Характеристики газопроводів (ребер) у такому представленні можна обмежити діаметром, проектним тиском і ймовірністю аварій. Ці дані реалізуються масивами, номери елементів яких відповідають номерам списку ребер графа.

Вершини графа (компресорні станції) характеризуються тисками і витратами входу та виходу та необхідним для цього енергетичними затратами кожної доби. У деяких вершин може бути можливість опису властивостей, пов'язаних з підземними сховищами газу. Таку можливість слід виокремити, що пов'язано з структурою управління ГТС.

Пропонована організація інформації продиктована доступністю комп'ютерних технологій, якими можлива реалізація цього алгоритмічного підходу до ефективного використання існуючої ГТС. Розв'язок такої задачі передбачає використання методів математичного програмування.

Програмна реалізація передбачає використання об'єктно-орієнтованого підходу. На основі 4 основних класів (лінійна ділянка МГ, компресорна станція, газоперекачувальний агрегат і ПСГ) реалізовані відповідні математичні моделі.

Лінійна частина складної газотранспортної системи, що складається з кінцевого числа паралельних ниток, з'єднаних перемичками, лупінгів і вставок, може бути зведена до простого однопітвора газопроводу методом еквівалентного діаметру [1, 2]. Такий підхід до розрахунку та побудови характеристик лінійної частини можна розглядати як початкове наближення до шуканого результату.

Пропускна здатність еквівалентного газопроводу визначається на основі основного рівняння МГ, записаного для зони жорстких труб турбулентного режиму [1]

$$Q_n = 0.326 \cdot 10^6 d^{2.5} \sqrt{\frac{P_n^2 - P_k^2}{\lambda \Delta z T L}},$$

де P_n, P_k – тиск на початку та в кінці ділянки довжиною L ; T – середня температура; z – коефіцієнт стислості; Δ – відносна густина. Алгоритм розрахунку пропускної здатності (рис. 1) входить як метод класу лінійної ділянки МГ. Це ітераційний алгоритм, що закінчується з досягненням заданої точності ε .

Характеристика компресорної станції (КС) залежить від характеристик газоперекачувальних агрегатів (ГПА) та схеми їх роботи. Тому програмна реалізація відповідного класу формується із класів ГПА. Найбільш поширеною моделлю характеристики відцентрового ГПА є двочленна модель [1]

$$\varepsilon^2 = a - bQ^2,$$

де ε – ступінь стиску ГПА; Q – об'ємна продуктивність; a, b – апроксимаційні коефіцієнти.

На основі цієї формули характеристики компресорної станції при довільному з'єднанні ГПА може бути представлено у вигляді

$$\left(\frac{P_n}{P_k}\right)^2 = A_i - B_i Q^2,$$

де i – номер КС. Так розраховуються продуктивності та тиски заданої ГТС. Однак, на вказану систему рівнянь слід накласти обмеження у вигляді граничних тисків

$$P_{ni} \leq P_{\max} \text{ і } P_{nk} \geq P_{\min},$$

де P_{\max} – максимально можливий тиск з точки зору міцності трубопроводу; P_{\min} – мінімально допустимий тиск з точки зору нормальної роботи ГПА.

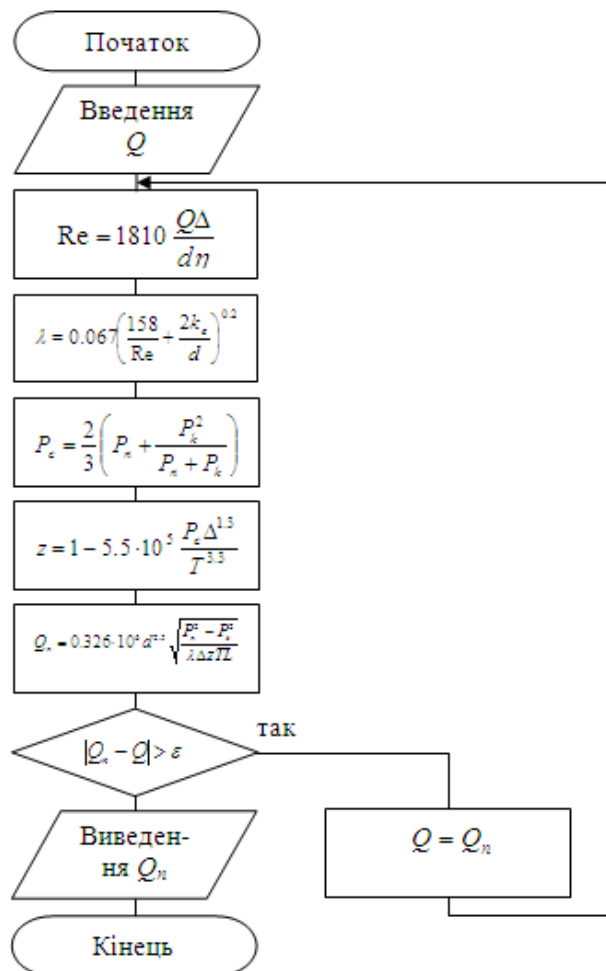


Рис. 1. Графічний алгоритм розрахунку лінійної ділянки МГ

Аналіз процесів [4], що відбуваються при експлуатації магістрального газопроводу з використанням ПСГ в умовах неповноти геолого-промислової інформації, показує необхідність розробки моделей, що враховують комплекс основних характеристик процесів закачування/відбору газу. У такій ситуації доцільним є представлення процесу закачування/відбору газу в вигляді кінцевого числа дискретних підпроцесів, що утворюють множину, що дозволяє розглядати всі підпроцеси ізольовано.

Алгоритм оптимізації роботи ПСГ в режимах закачування/ відбору газу з урахуванням декомпозиції процесу на кінцеве число підпроцесів може бути наступним [4]:

1. З заданою періодичністю (місяць, квартал, рік) роз'язується задача прогнозування пластового тиску на основі відомих методів, наприклад, методом відновлення пластового тиску, індикаторних діаграм.

2. Розв'язується задача оптимізації (наприклад, заданий дебіт газу при мінімальних енергетичних витратах) для ПСГ в цілому з урахуванням наявності обмежень: потужність компресорної станції, пропускна спроможність магістрального газопроводу й ін.

3. Для отримання конкретного чіткого керуючого впливу фіксується значення сумарного дебіту газу з підземного сховища та тиску газу на вході в компресорну станцію, при якому виконується визначений вищим рівнем управління обсяг поставки газу.

Висновки. Важлива роль при реалізації оптимальних управлінь відводиться прогнозуванню режимів експлуатації ГТС і характеристик ПСГ, проведеного одним з методів або їх комбінацією: змінного середнього, експоненціального згладжування, спектральної декомпозиції, авторегресійними методами й ін. При корекції управлінь, для досягнення мети управління, доцільно використовувати варіаційні підходи та параметричну оптимізацію. Принцип колективного управління магістральними газопроводами та ПСГ з використанням інформаційних технологій підходять для реалізації оптимального управління складними ГТС.

Запропонована програмна реалізація розрахунку режимів роботи складних ГТС дозволяє визначити оптимальні технологічні показники газосховища на період неповного завантаження та з реверсними режимами. Її можна використовувати для розрахунку складних ГТС з ПСГ, що експлуатуються в газовому режимі.

Література

1. Трубопровідний транспорт газу / М.П. Ковалко, В.Я. Грудз, В.Б. Михалків та ін. – К.: АренаЕКО, 2002.– 600 с.
2. Математичне моделювання складних газотранспортних систем в комплексі з ПСГ / В. Я. Грудз, Я. В. Костів, В. Р. Процюк, Д. Ф. Тимків // ScienceRise. – 2016. – № 4(2). – С. 44-49.

3. Алгоритмічна оптимізація режимів експлуатації газотранспортної системи за неповного навантаження з урахування реверсних режимів роботи / М.В. Крихівський, Т.О. Ваврик, Г.І. Левицька, Л.В. Саманів // Збірник наукових праць Міжнародної науково-практичної конференції «Нафтогазова енергетика». – Івано-Франк., ІФНТУНГ, 2017. – С. 193-195.
4. Крихівський М.В. Інформаційна технологія оптимізації режимів експлуатації магістрального газопроводу з використанням підземних сховищ / М.В. Крихівський // Прикарпатський вісник НТШ Число. – 2016. – 1(33). – С. 296-303.

*Стаття надійшла до редакційної колегії 18.12.2017 р.
Рекомендовано до друку д.т.н., професором Грудзом В.Я.,
д.т.н., професором Говдяком Р.М. (м. Київ)*

PROGRAMMING CALCULATION OF MODES COMPLEX GAS TRANSPORTATION SYSTEM

M. V. Kryhivskiy, D. F. Tymkiv, Ya. V. Kyshymyshyn

Ivano-Frankivsk National Technical University of Oil and Gas;

76019, Ivano-Frankivsk, Carpatska str., 15;

ph. +380 (342) 72-71-33; e-mail: public@nung.edu.ua

Powered phe principles of programming of calculation of complex gas transportation system are given. The information technology of optimization of operating modes on the criterion of minimization of the required power of compressor stations is proposed. It uses mathematical models to determine the optimal technological performance.

Key words: *calculation of modes, main gas pipeline, compressor station, underground storage of gas, optimization.*