

МАТЕМАТИЧНЕ МОДЕЛЮВАННЯ ПЕРЕХІДНИХ ПРОЦЕСІВ В СИСТЕМАХ ТРАНСПОРТУВАННЯ ГАЗУ

© Притула Н., 2012

Розглянуті задачі розрахунку параметрів нестационарних процесів у разі перемикань, які використовуються в управлінні газопотоками. Запропоновано алгоритми формування порядку перемикань. Запропоновано алгоритми, які забезпечують, за значних коливань витрати та тиску, стійку роботу методів розрахунку параметрів газопотоків.

Ключові слова: газотранспортна система, управління, нестационарний процес, стійкість методу, режим роботи.

In this paper, we consider problems of calculation of parameters of unsteady processes when switchings which are used in gas movement management. We have offered algorithms of formation of an order of switchings. We have also offered algorithms which provide, at considerable fluctuations of an expense and pressure, firmness of methods of calculation of parameters of gas of streams.

Key words: gas transport system, management, unsteady process, firmness of a method, operating mode.

Вступ

Газотранспортна система України є керованим об'єктом. Управління газопотоками здійснюється зміною: стану запірної арматури, продуктивності газоперекачувальних агрегатів, параметрів джерел та відборів газу тощо. Окремі зміни вимагають певної послідовності дій в часі, що визначається регламентом управління об'єктом. Перехідні процеси в системах в місцях проведених змін є значними як за амплітудою, так і швидкістю їх проходження. Це зумовлює будувати такі розрахункові методи, які б адаптувалися до параметрів перехідних процесів. На зміни, як її частоту, впливають також зміни параметрів відборів та джерел газу. Порядок проведення змін та їх частота належать до компетенції алгоритмів оптимального управління, які в цій роботі не розглядаються.

1. Регламент роботи технологічних об'єктів

Всі види управління роботою об'єктів є регламентованими як за операціями, так і часом їх проходження. Всі регламенти були відпрацьованими під час проведення числових експериментів. Прийнятий для використання регламент забезпечує максимально адекватну реальним об'єктам роботу і максимальну стійкість числових розрахункових методів. Розглянемо два основні об'єкти управління газопотоками в ГТС-крани та компресорні станції.

Регламент роботи крана складається із двох частин – закриття та відкриття:

- **закриття крана** відбувається миттєво (справа та зліва від крана, якщо його вважати ребром графа ставиться нульова гранична умова на витрату, тобто $Q = 0$).
- **відкриття крана** відбувається упродовж певного часу. Для стійкості роботи методу, на час моделювання відкриття крана, крок за часом зменшували (в проведених експериментах крок за часом зменшували в 10 разів). Під час цього перепад тисків e спрямовується до 1 ($e \rightarrow 1$) за таким алгоритмом:

- 1) обраховуємо відношення тисків на крані e (який є наявним для певного часу t);

2) для певного часу t (для всіх ітерацій певного t) в рівняння входить степінь стиснення e^* , який знаходиться з однієї із двох формул: $e^* = e + \frac{1-e}{2^{9-n}}$, де n – число зменшення кроку за часом після відкриття крана, $n = (0,9)$, або $e^* = e + \frac{1-e}{2}$. Перша формула як функція – опуклий варіант, інший – вгнутий.

Регламент роботи компресорної станції складається з трьох частин:

- **вимкнення КС** (переведення КС з робочого режиму “на прохід”) відбувається миттєво, тобто наявний ступінь стиснення спрямовують до одиниці, тобто приймають $e = 1$;
- **увімкнення КС** здійснюється протягом N_{on} кроків, спрямуванням ступеня стиснення e від e_{min} до певного значення $e_{default}$ яке встановлюється заздалегідь. Після чого розраховуються параметри режиму роботи ГТС разом із увімкненою вказаним способом КС, зокрема, такий параметр, як потужність КС. Зауважимо, що в цей же момент розраховуються оптимальні параметри коридору зміни контрольованого параметра P_2 для тиску на виході КС. Якщо такі параметри існують, то їх вважаємо для P_2 за оптимальні;
- **зміна потужності КС** (збільшення, або зменшення) відбувається пропорційно для всіх цехів багатоцехових КС, які працюють, на певний відсоток k . У цьому варіанті k визначається як відсоток відхилення контрольованого параметра, який призводить до зміни роботи КС, від оптимального значення (якщо значення контрольованого параметра вийшло за технологічні/оптимальні допустимі межі).

2. Математична модель газових потоків

Моделлю руху газу на кожній з ділянок є система взаємопов’язаних диференціальних рівнянь у частинних похідних з початково-граничними умовами. Ця система містить такі рівняння [1]:

$$\begin{cases} \frac{\partial(rv)}{\partial t} + \frac{\partial P}{\partial x} + ar \frac{\partial}{\partial x} \left(\frac{v^2}{2} \right) + rg \frac{dh}{dx} + \frac{Irv^2}{2S} = 0, \\ \frac{\partial r}{\partial t} + \frac{\partial(rv)}{\partial x} = 0, \\ \frac{\partial}{\partial t} (rE) + \frac{\partial}{\partial x} rv \left(E + \frac{P}{r} \right) = \frac{4K(T_{ep} - T)}{D} - rv g \frac{dh}{dx}, \end{cases} \quad (1)$$

що замикається рівнянням стану газу $P = zrRT$.

Тут r, v, P невідомі густина, швидкість руху, температура і тиск газу; a – коефіцієнт Коріоліса, g – прискорення вільного падіння; h – висота залягання труби; I – коефіцієнт гідравлічного опору; K – коефіцієнт теплопередачі від труби до ґрунту; T_{ep} – температура ґрунту; h – висота залягання труби; E – повна енергія одиниці маси.

$$E = i - \frac{P}{r} + \frac{v^2}{2},$$

$$di = \frac{\partial i}{\partial T} dT + \frac{\partial i}{\partial P} dP = C_p dT + \left[\frac{1}{r} - T \left(\frac{\partial(1/r)}{\partial T} \right)_p \right] dP, \quad C_p = \left(\frac{\partial i}{\partial T} \right)_r.$$

Для обчислення коефіцієнта стисливості z , який описує відмінність реального газу від ідеального, застосовують емпіричну формулу

$$z = (1 + (24 - 0.21t^{\circ}C)p)^{-1} 10^{-4},$$

де $t^{\circ}C$ – температура газу за Цельсієм.

Для відшукування розв'язку системи (1) доповнюємо її відповідними крайовими умовами на швидкість і/або на тиск газу. Розв'язуємо методом скінченних елементів [2].

Для розрахунку режиму роботи КС використовуються напівемпіричні співвідношення [4], які пов'язують параметри газу на його входах (тиск, витрата, температура, густина газу) та виходах (тиск, температура). Результатом розрахунку є: кількість ГПА, схема їх з'єднання, гідравлічні втрати на вхідних та вихідних шлейфах та параметри роботи кожного ГПА (потужність приводу, об'єм споживання паливного газу, обороти відцентрового нагнітача, ступінь підвищення тиску). Так потужність приводу у разі політропних процесів розраховується за формулою [3]

$$N_{пол} = a \frac{m}{m-1} P_i Q_i \left(\left(\frac{P_j}{P_i} \right)^{(m-1)/m} - 1 \right), \quad (2)$$

де a – емпіричний коефіцієнт; m – показник політропи; Q_i – об'ємна витрата газу на вході.

3. Аналіз числових експериментів. Вплив параметрів алгоритмів змін на параметри нестационарних режимів

Розглянемо розрахунок ділянки газопроводу довжиною 100 км і з внутрішнім діаметром 1400 мм, потік газу в якій є стаціонарним. За граничні виберемо початкові умови. Розглянемо два випадки задання граничних умов – на тиски і на витрату (див. рис. 1). Зліва на рис. 1 бачимо зміну витрати (згори) та тиску (знизу) у випадку граничних умов на тиски. Справа на тому ж рисунку бачимо графіки, отримані у випадку задання граничних умов на витрату. Як бачимо, незначні коливання розрахованих параметрів в початковий момент часу, які найвірогідніше пов'язані з неузгодженістю початкових та граничних умов. Ці коливання є незначними (за межами точності вимірювальних приладів) і тому не впливають на розрахункові параметри.

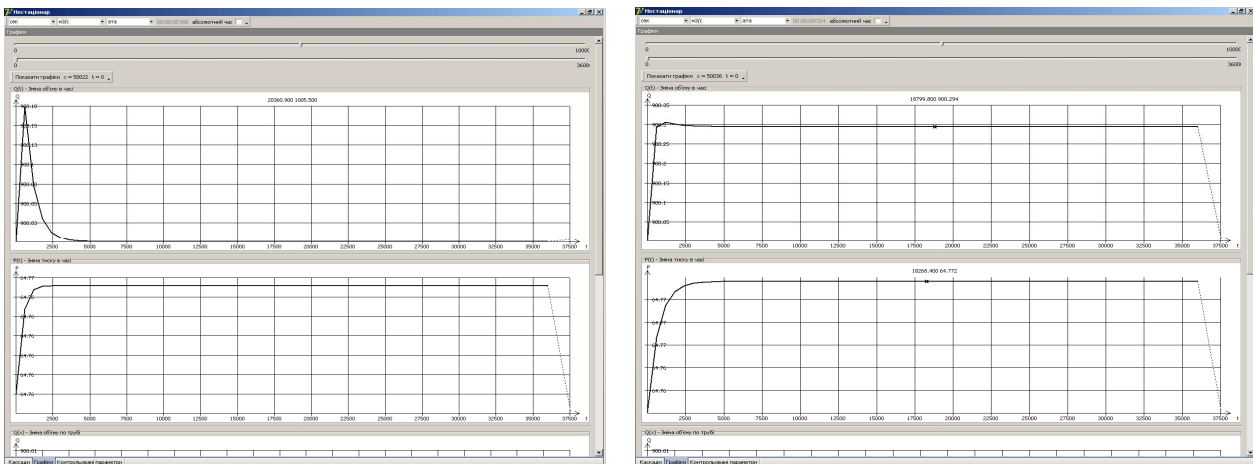


Рис. 1. Розрахунок стаціонарного режиму методом, розрахованим для нестационарних режимів

Відкриття та закриття кранів у газотранспортній системі відбувається доволі часто. Якщо відбувається зміна стану одночасно в декількох кранах, то відбуваються значні за амплітудою та швидкістю збурення параметрів потоків газу. Розрахунок у таких випадках може бути нестійким. В таких випадках потрібно відпрацювати такий регламент зміни стану, щоб і стійкість методу була достатньою, та розраховані параметри газодинамічних процесів були близькими до реальних.

Розглянемо приклад. Довжина ділянки газопроводу становить 100 км, а внутрішній діаметр – 1400 мм. Кран розміщений посеред ділянки. Закриття крана відбувається на 7200 с, а відкриття на 9000 с. Крок методу за часовою координатою – 600 с. В інтервалах часу 7200–7800 і 9000–9600 крок за часом – 60 с. Результати розрахунку подані на рис. 2, 3. На рис. 4, 5 представлені результати вимкнення КС.

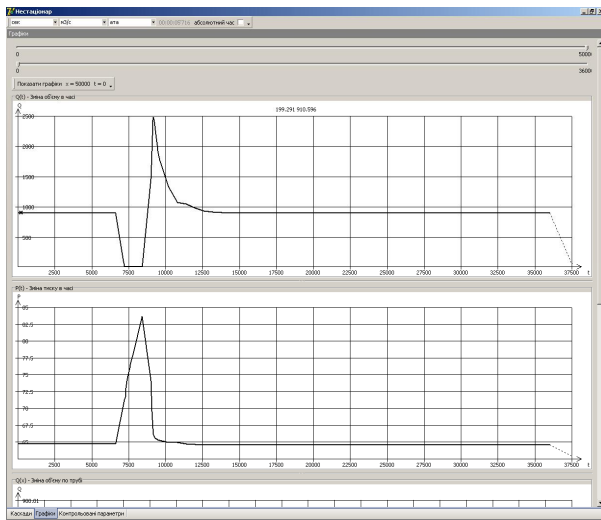


Рис. 2. Зліва від крана (з боку джерела)

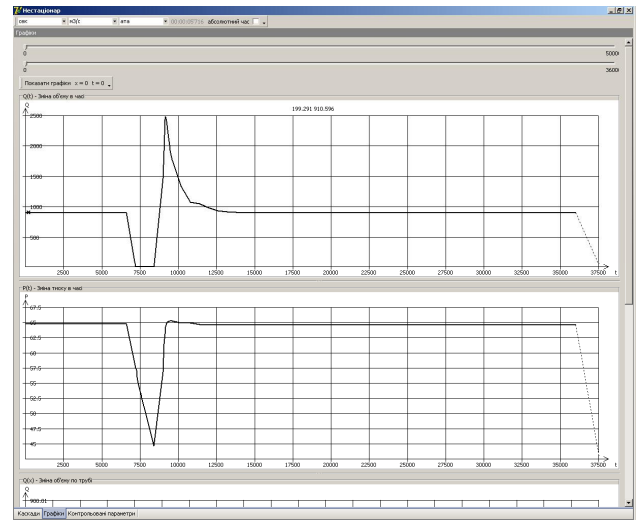


Рис. 3. Справа від крана (з боку відбирання)

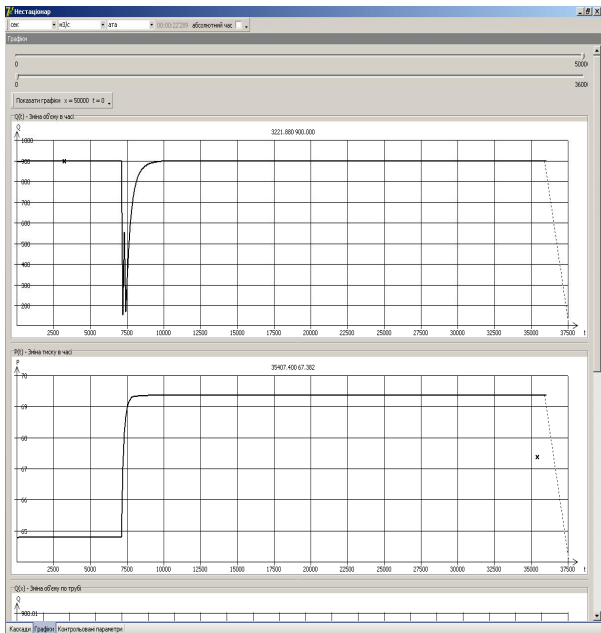


Рис. 4. Зміна витрати та тиску на вході КС

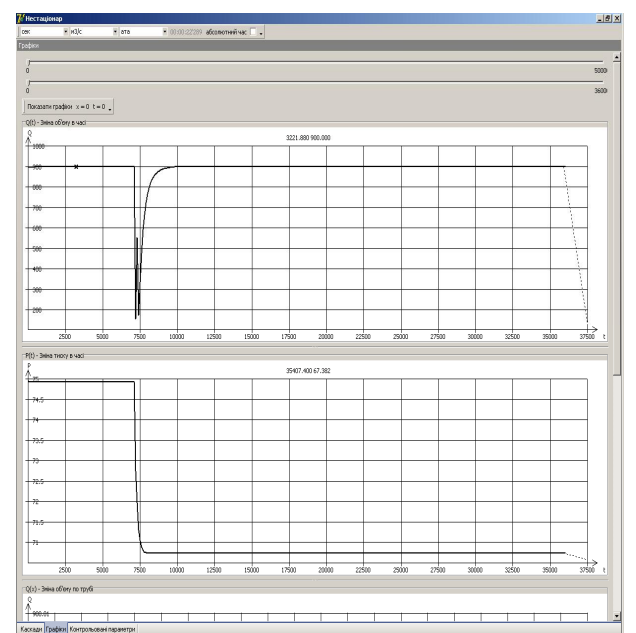


Рис. 5. Зміна витрати та тиску на виході КС

Висновки

Запропоновані регламенти робіт об'єктів та алгоритми їх реалізації були апробовані на багатьох прикладах. Результати числових експериментів продемонстрували, що запропоновані алгоритми забезпечують стійкість методів розрахунку параметрів газопотоків.

1. Селезнев В. Е., Алешин В. В., Клишин Г. С. Методы и технологии численного моделирования газопроводных систем. – М.: Едиториал УРСС, 2002. – 448 с. 2. Притула М., Лопух Н., П'янило Я., Савула Я. Алгоритми розрахунку параметрів течії газу в трубопроводах (2) // Вісник Нац. ун-ту "Львівська політехніка": Комп'ютерні науки та інформаційні технології. – Львів, 2009. – № 616. – С. 159–165. 3. Панкратов В.С., Дубинський Ф.В., Сиперштейн Б.И. Информационно-вычислительные системы. – Л.: Недра, 1988. – 246 с. 4. Сарданаивили С.А. Расчетные методы и алгоритмы (трубопроводный транспорт газа). – М.: ФГУП Изд-во РГУ нефти и газа им. И. М. Губкина, 2005. – 577 с.