

КОМП'ЮТЕРНЕ МОДЕЛЮВАННЯ НЕСТАЦІОНАРНИХ РЕЖИМІВ З ВИКОРИСТАННЯМ МЕТОДУ ХАРАКТЕРИСТИК

Гусарова Ірина Григоріївна

ORCID: 0000-0002-1421-0864

канд. тех. наук, доцент, професор кафедри прикладної математики

Харківський національний університет радіоелектроніки

Костенко Маргарита Юріївна

здобувач вищої освіти факультету інформаційно-аналітичних

технологій та менеджменту

Харківський національний університет радіоелектроніки

Україна

Моделювання режимів роботи газотранспортної системи є важливим інструментом для ефективного управління та оптимізації газопостачання, яке відіграє ключову роль у сучасному суспільстві з точки зору енергетики, промисловості та життя населення загалом. Моделі режимів роботи газотранспортних систем допомагають передбачати та аналізувати можливі аварійні ситуації, включаючи витoki газу, вибухи та інші небезпечні події. Це дозволяє приймати ефективні заходи з попередження аварій та забезпечення безпеки. Моделювання також допомагає встановити оптимальні параметри роботи газотранспортних систем, такі як тиск, температура, швидкість та інші фактори, що впливають на транспортування газу. Це дозволяє зменшити втрати газу, знизити енергоспоживання та зекономити ресурси.

Розглядається ділянка газопроводу (ДТ) [1], який функціонує в режимі нестационарної роботи, що означає зміну параметрів газового потоку з плином часу. Цей режим пов'язаний з різкою зміною умов на кінці ділянки трубопроводу в початковий момент часу. Нестационарний неізотермічний режим течії газу (ННРТГ) при заданому початковому розподілі можна описати за допомогою

математичної моделі, яка враховує кінетичну енергію та була представлена в роботі [2], проте в даній роботі будемо оцінювати час поширення хвилі збурення.

Для оцінки часу поширення хвилі збурення обираємо метод характеристик. Цей метод є явним, оскільки вимагає обчислення розв'язку в кожен момент часу на основі інформації з попереднього часового кроку. Основною перевагою методу характеристик є можливість точно визначити час, коли збурення досягне певної точки в системі. Це корисно для прогнозування реакції системи на зовнішні впливи. Але для його застосування необхідно мати точні граничні та початкові умови.

Знайдено корені рівняння математичної моделі, що враховує кінетичну енергію [1], які мають наступний вигляд:

$$\lambda_1 = \frac{1}{\frac{2\alpha SWT}{P} + \frac{2C_p P}{\alpha SW}}, \lambda_2 = \frac{1}{\sqrt{\alpha ST} + \alpha ST \frac{W}{P}}, \lambda_3 = \frac{1}{-\sqrt{\alpha ST} + \alpha ST \frac{W}{P}}, \quad (1)$$

де:

$$\alpha = \frac{zgR}{S};$$

z – коефіцієнт стисливості газу;

g – прискорення вільного падіння;

R – питома газова постійна;

C_p – питома теплоємність газу;

$W = \rho V$ – питома масова витрата газу;

S – площа поперечного перерізу;

T – температура;

P – тиск газу.

У математичному пакеті Wolfram Mathematica 10.0 був створений програмний продукт [3], що дозволяє розрахувати необхідні параметри газового потоку ННРТГ на ДТ на кожному часовому шарі, які залежать від початкового розподілу, з використанням методу характеристик для відстеження часу перехідного процесу. За допомогою даної програми був проведений експеримент

та проведені розрахунки необхідних параметрів газового потоку нестационарного режиму течії газу по ділянці трубопроводу на кожному часовому шарі, які залежать від початкового розподілу, а також знайдений час перехідного процесу. У ході експерименту перевірено роботу алгоритму методу характеристик у випадку, коли відбувається зміна значення комерційної витрати наприкінці ділянки трубопроводу, а також досліджено залежність питомої масової витрати q , тиску P і температури T від кількості точок розбиття N .

Розглянуто ДТ довжини та внутрішнього діаметру труби, а саме:

- довжина $L = 14$ км;
- внутрішній діаметр труби $D = 1200$ мм;
- товщина стінок труби $\delta = 10$ мм;
- еквівалентна шорсткість труб $K = 0,03$ мм;
- температура ґрунту на глибині закладання газопроводу $t_{zp} = 10$ °С;
- коефіцієнт теплопередачі від труби до ґрунту $k_T = 1,4$;
- коефіцієнт ефективності ділянки $E = 0,95$;
- коефіцієнт стислості газу $z_H = 0,9$;
- питома теплоємність газу $C_p = 0,655952$.

Початкові умови були встановлені наступним чином: на початку ДТ тиск газу $P_H = 80,56$ атм, температура $t_H = 39$ °С, комерційна витрата на ДТ $q = 84,6$ млн м³/добу, та режим вважався стаціонарним. Однак, на кінці ділянки відбулося підключення великого споживача та комерційну витрату збільшено до $q = 98,6$ млн м³/добу. Іншими словами, ми перевіряємо правильність роботи алгоритму, який використовує метод характеристик, в умовах зміни значення комерційної витрати в кінці ділянки трубопроводу.

Кількість точок розбиття для ДТ становить: $N_1 = 14$, $N_2 = 28$, $N_3 = 56$, $N_4 = 112$ при точності обчислень $\varepsilon = 10^{-6}$.

Розглянемо випадок ННРТГ і проведемо порівняння, як залежать розрахункові значення параметрів газового потоку, а саме питома масова витрата, тиск і температура, від кількості точок розбиття N .

Таблиця 1

Порівняння отриманих значень параметрів на останньому часовому шарі для різних N

N	Довжина ділянки x (км)	Час t (с)	Витрата газу q (млн м ³ /добу)	Тиск P (атм)	Температура T (°C)
$N_1 = 14$	13.97	0.0876950494	98.0715	76.3057	30.1076
$N_1 = 28$	13.9701	0.0874637665	97.668	76.2951	30.3328
$N_2 = 56$	13.9701	0.0873486106	96.9307	76.2758	30.7377
$N_3 = 112$	13.9701	0.0872918055	95.7034	76.2437	31.4088

Таблиця 2

Час розрахунку та виведення параметрів газового потоку

N	Час розрахунку параметрів газового потоку (с)
$N_1 = 14$	1,468750
$N_2 = 28$	5,328125
$N_3 = 56$	18,375000
$N_4 = 112$	71,484375

розраховано на комп'ютері з процесором Intel® Core™ i3-6006U CPU @ 2.00GHz та 12 ГБ оперативної пам'яті.

Різкий скачок параметрів газового потоку ННРТГ наприкінці ділянки газопроводу можна побачити на графічному представленні (рис. 1-3). Аналіз результатів обчислювального експерименту при різних значеннях кількості точок розбиття ДТ, показує, що потрібно витримувати баланс між кількістю точок розбиття та часом розрахунку в залежності від поставленої задачі.

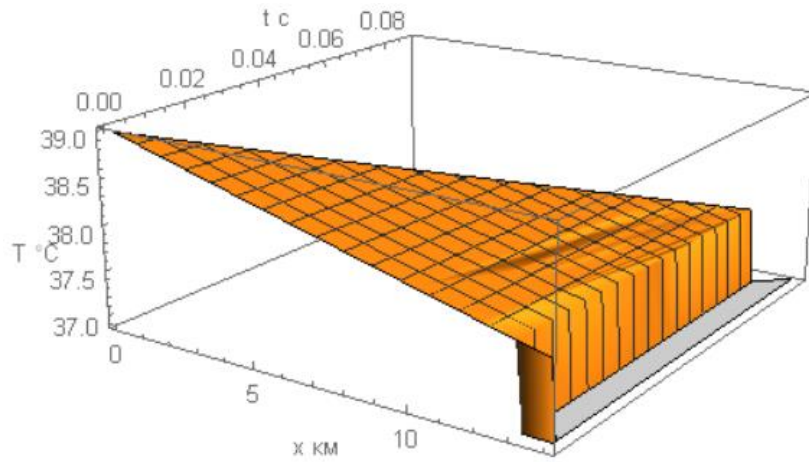


Рис. 1 – Графік зміни параметрів x , t , T

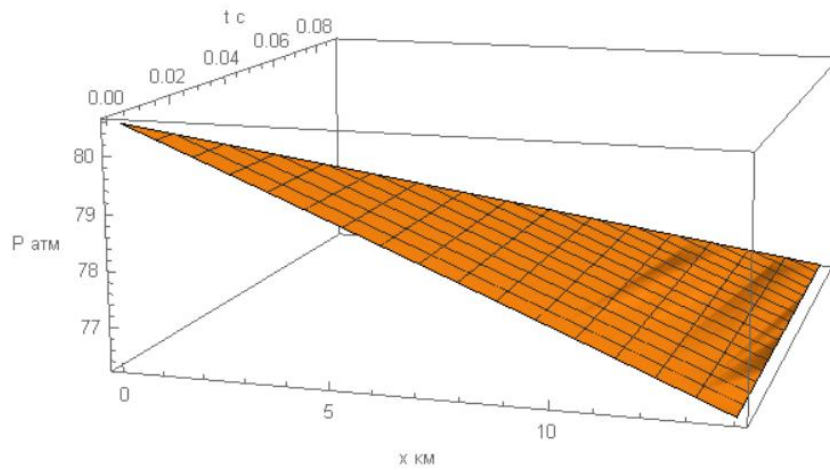


Рис. 2 – Графік зміни параметрів x , t , P

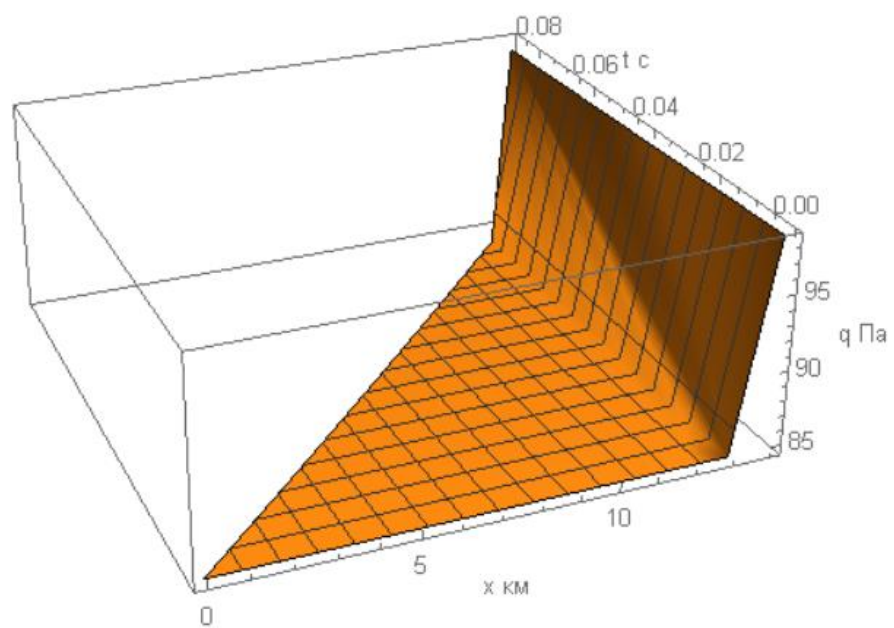


Рисунок 3 – Графік зміни параметрів x , t , q

Висновки. У даному дослідженні було застосовано явний метод характеристик для розв'язання квазілінійної системи рівнянь, яка описує математичну модель ННРТГ по ДТ з урахуванням кінетичної енергії. Було проведено чисельний експеримент комп'ютерного моделювання ННРТГ при обраних параметрах та досліджено поведінку параметрів газового потоку при підключенні до газотранспортної системи великого споживача наприкінці ділянки трубопроводу завдяки створеному програмному продукту. Коректність роботи цього програмного продукту було перевірено на тестових прикладах. Перевірено ефективність застосування явного методу характеристик для аналізу поведінки параметрів математичної моделі ННРТГ з урахуванням кінетичної енергії. Проведений аналіз результатів обчислювального експерименту. Одержані результати можуть бути корисними при проектуванні та управлінні газотранспортною системою з метою її оптимізації, автоматизації та запобігання нештатних та аварійних ситуацій.

Список використаних джерел:

1. Гусарова И.Г. & Ягупова Ю.В. (2014). Использование метода характеристик при моделировании нестационарных режимов течения газа по участку трубопровода. Харьков: VI Международная научно-практическая конференция «Проблемы и перспективы развития ИТ-индустрии»: тезисы докладов, 17-18 апреля 2014 г. (с. 225).
2. Husarova I. H., Tevyashev A. D. & Tevyasheva O. A. (2022). Mathematical modeling of non-stationary gas flow modes along a linear section of a gas transmission system. *Mathematical Modeling and Computing*. Vol. 9, No. 2, (pp. 416–430).
3. Гусарова І.Г. & Костенко М.Ю. (2022) Застосування методу характеристик при моделюванні нестационарних режимів течії газу по ділянці трубопроводу. Харків: 26-ий Міжнародний молодіжний форум «Радіоелектроніка та молодь у XXI столітті».