



УКРАЇНА

(19) **UA** (11) **103044** (13) **U**
(51) МПК (2015.01)
G01N 7/00
G01F 1/34 (2006.01)

ДЕРЖАВНА СЛУЖБА
ІНТЕЛЕКТУАЛЬНОЇ
ВЛАСНОСТІ
УКРАЇНИ

(12) ОПИС ДО ПАТЕНТУ НА КОРИСНУ МОДЕЛЬ

(21) Номер заявки: u 2015 06757	(72) Винахідник(и): Кобилін Анатолій Михайлович (UA), Тевяшев Андрій Дмитрович (UA), Кобилін Олег Анатолійович (UA)
(22) Дата подання заявки: 08.07.2015	
(24) Дата, з якої є чинними права на корисну модель: 25.11.2015	(73) Власник(и): Кобилін Анатолій Михайлович, вул. Ахсарова, 5, кв. 136, м. Харків, 61202 (UA), Тевяшев Андрій Дмитрович, вул. Велозаводська, 38, кв. 38, м. Харків, 61176 (UA), Кобилін Олег Анатолійович, вул. Ахсарова, 5, кв. 136, м. Харків, 61202 (UA)
(46) Публікація відомостей про видачу патенту: 25.11.2015, Бюл.№ 22	(74) Представник: Ніколаєнко Вікторія Миколаївна, реєстр. №251

(54) СПОСІБ ВИЗНАЧЕННЯ ТА РЕГУЛЮВАННЯ ПАРАМЕТРІВ ТРАНСПОРТУ ПРИРОДНОГО ГАЗУ НА ДІЛЯНЦІ ТРУБОПРОВОДУ

(57) Реферат:

Спосіб визначення та регулювання параметрів транспорту природного газу, що стосується області автоматичного контролю технологічних параметрів і показників фізичних властивостей природного газу в процесі його видобутку, транспортування, збереження, та розподілення і може бути використаний для квазістаціонарного режиму транспорту природного газу при моделюванні режимів транспорту природного газу на ділянці трубопроводу.

UA 103044 U

Запропонована корисна модель належить до області автоматичного контролю технологічних параметрів і показників фізичних властивостей природного газу в процесі його видобутку, транспортування, збереження та розподілення і може бути використана для квазістаціонарного режиму транспорту природного газу при моделюванні режимів транспорту природного газу на ділянці трубопроводу.

Проблема оптимізації режимів роботи газотранспортних систем (ГТС) була і залишається однією з актуальних проблем в трубопровідних системах енергетики.

Відомі способи оптимізації транспорту природного газу, як правило спираються на ряд допущень про незмінність окремих характеристик ГТС у процесі експлуатації або про визначеність і незмінність окремих параметрів і показників фізичних властивостей природного газу.

На цей час накопичений значний досвід по математичному моделюванню та оптимізації режимів транспортування і розподілу природного газу в ГТС. Однак, вирішення задачі оптимізації стаціонарних режимів на заданому інтервалі часу $[0, T]$ з використанням детермінованих моделей поточкорозподілу призводить до того, що отримані оптимальні рішення знаходяться, як правило, на межі допустимої режимів (МДР). Крім того, час існування стаціонарних режимів роботи ГТС практично нескінченно малий в порівнянні заданим інтервалом оптимізації $[0 - T]$. На практиці це означає, що оптимізація проводиться не для інтервалу часу, а для якоїсь миті часу. Аналогічна ситуація виникає при використанні детермінованих моделей нестационарного неізотермічного руху природного газу в газотранспортній системі.

Відомий спосіб визначення та регулювання параметрів транспорту природного газу на ділянці трубопроводу, що включає визначення тиску і температури газу на вході і виході ділянки, визначення густини газу і розрахунок витрати газу через зазначену ділянку та регулювання параметрів транспорту газу з використанням автоматизованого обчислювального пристрою (Патент України №34698, кл. G01F1/34, Бюл. №7. 2003). Відповідно до відомого способу розрахунок витрати газу через ділянку визначають за формулою:

$$Q_y = Q + Q_{\text{гп}} + \delta W - Q_{\text{пот}},$$

де:

Q - витрата газу на вході в ділянку трубопроводу, кг/с;

$Q_{\text{гп}}$ - витрата газу по припливах (доборах) на ділянці газопроводу, кг/с;

Z - коефіцієнт стисненості газу;

$$Z = 1 - P_{\text{гп}} \frac{\frac{0,04P_{\text{гп}} - 0,41}{T_{\text{гп}}^2} - 0,61}{T_{\text{гп}}};$$

δW - зміна запасу газу в трубі за одиницю часу, кг/с;

$$W = \frac{293,2P_{\text{гп}}f l}{1,033T_{\text{гп}}Z} - \text{запас газу};$$

$T_{\text{гп}}$ - середнє значення температури газу на ділянці трубопроводу, К;

$P_{\text{гп}}$ - середнє значення тиску газу на ділянці трубопроводу, кгс/см²;

f - площа поперечного перерізу труби, м²;

l - довжина контрольованої ділянки трубопроводу, м;

$Q_{\text{пот}}$ - витрата по технологічних втратах газу на ділянці, кг/с;

$P_{\text{гп}}$ - приведенє значення тиску газу;

$T_{\text{гп}}$ - приведенє значення температури газу.

Недоліком цього способу є недостатня точність визначення параметрів транспорту газу в умовах змін стану навколишнього середовища протягом фіксованого інтервалу часу.

Найбільш близьким по технічній суті є Патент Російської Федерації № 2269113, (опубл. 27.01.2006, Заявка № 2004118739 від 21.06.2004), в якому описаний спосіб визначення та регулювання параметрів транспорту природного газу на ділянці трубопроводу. Даний спосіб визначення витрати газу, що транспортується, так само, як і спосіб визначення оптимальних параметрів роботи для квазістаціонарного режиму транспорту природного газу на ділянці трубопроводу, що заявляється, включає пропускання газу послідовно через регулюючий клапан, турбулентний та ламінарний дроселі на цій ділянці, вимірювання значень тиску та температури газу на ділянці від входу до виходу, причому тиск вимірюють на вході перед турбулентним дроселем і на виході після ламінарного дроселя, температуру вимірюють на вході перед турбулентним дроселем, значення цих показників передають на обчислювальний

пристрій, який після обробки отриманих значень в програмних модулях подає управлінський сигнал на регулюючий клапан для підтримання оптимальних вхідних значень тиску газу.

Однак, відсутність можливості визначення вхідних параметрів тиску і температури газу для отримання заданих значень тиску і температури на виході ділянки трубопроводу по приведеній формулі не дозволяє оперативно визначати витрату газу через ділянку, тому що визначення значень витрати газу на вході ділянки, витрати газу на технологічні втрати - витрати газу на власні потреби на ділянці і запасу газу здійснюється за фіксований інтервал часу, рівний, наприклад одній або двом годинам.

В основу корисної моделі поставлено задачу в способі визначення та регулювання параметрів транспорту природного газу на ділянці трубопроводу шляхом підвищення його точності, за рахунок застосування об'єднаних програмних методів імітаційного моделювання і пошукових методів інтервального аналізу та визначення параметрів на вхідній ділянці, необхідних для отримання бажаних значень параметрів на вихідній ділянці, забезпечити вибір оптимального режиму транспорту газу.

Поставлена задача вирішується завдяки тому, що в способі визначення та регулювання параметрів транспортування природного газу на ділянці трубопроводу, що включає пропускання газу послідовно через регулюючий клапан, турбулентний та ламінарний дроселі на цій ділянці, вимірювання значень тиску та температури газу на ділянці від входу до виходу, причому тиск вимірюють на вході перед турбулентним дроселем і на виході після ламінарного дроселя, температуру вимірюють на вході перед турбулентним дроселем, значення цих показників передають на обчислювальний пристрій, який після обробки отриманих значень в програмних модулях подає управлінський сигнал на регулюючий клапан для підтримання оптимальних вхідних значень тиску газу, згідно з корисною моделлю, в обчислювальному пристрої визначення параметрів здійснюють методами імітаційного моделювання та інтервального аналізу в програмних блоках для вирішення прямої та зворотної задачі інтервального аналізу, при якому шляхом поєднання цих методів визначають значення параметрів на вхідній ділянці, необхідні для отримання бажаних значень параметрів на вихідній ділянці.

Після ламінарного дроселя додатково визначають температуру та витрати газу, отримані дані передають в обчислювальний пристрій, в якому на першому етапі, використовуючи метод імітаційного моделювання, визначають можливі області пошуку значень вхідних параметрів тиску та температури, на другому етапі, використовуючи метод нестандартних інтервальних арифметичних операцій, вирішують пряму задачу для визначення вихідних параметрів тиску та температури, на третьому етапі вирішують зворотну задачу для визначення значень вхідних параметрів тиску та температури для бажаного значення вихідних параметрів, використовуючи пошуковий метод інтервального аналізу.

На третьому етапі визначають вхідні значення тиску газу, витрат газу, коефіцієнта ефективності, температури газу, які забезпечують необхідне значення кінцевих значень тиску і температури газу за допомогою вирішення в автоматизованому обчислювальному пристрої зворотної задачі, що включає визначення бажаних значень підсумкового показника Y_0 за формулою:

$$Y_0 = f_0(x_{1;0}; x_{2;0} \dots x_{n;0}),$$

де y_0 – показник першого рівня (підсумковий), $x_{1;0}; x_{2;0} \dots x_{n;0}$ – аргументи першого рівня із наступною структурою дерева формул

$$\begin{array}{c}
 \boxed{Y_0 = f_0(x_{1;0}; x_{2;0} \dots x_{i;0} \dots x_{m;0})} \\
 \swarrow \quad \downarrow \quad \searrow \\
 x_{1;0} = f_{1;1}(x_{1;1}; x_{2;1} \dots x_{i;1}) \quad \dots \quad x'_{i;k} = f_{i;k}(x_{1;k}; x_{2;k} \dots x_{i;k})
 \end{array}$$

та визначення можливого інтервалу невизначеності покрокового показника, тобто інтервалів визначення змінних нульового рівня, обчислення можливого інтервалу для Y_0 , обчислення для вибраних випадкових чисел відповідних показників і вибирання тих значень, для яких модуль відхилення розрахункового значення від бажаного не перевищує заданої точності та маючи розрахункові інтервали невизначеності, обчислення інтервалу відповідного показника для рівня дерева з найменшим номером.

Запропонований спосіб дозволяє визначити оптимальні параметри транспорту природного газу оперативнo в режимі реального часу , а також визначити тиск, температуру і витрати газу на вхідній ділянці, необхідні для заданого кінцевого тиску і температури газу.

Спосіб здійснюють таким чином.

5 В запропонованому способі вхідну та вихідну ділянки трубопроводу оснащують датчиками.

Створюють імітаційну модель ділянки трубопроводу у вигляді алгоритму, виконання якого імітує послідовність зміни станів в системі і таким чином являє собою поведінку модельованої системи.

10 Для дослідження статистичних властивостей залежних змінних моделі від статистичних властивостей незалежних змінних використовують методи інтервального аналізу.

Всі параметри вимірюють за допомогою датчиків і, використовуючи одержані значення параметрів, вирішують дві задачі.

15 Перша задача. По вимірюваних значеннях параметрів $P_n(w)$, $P_k(w)$, $T_n(w)$, $T_k(w)$ і коефіцієнта ефективності «E(w)» обчислюють значення $\text{Max}(\text{wid}(P_k(w)))$ тиску газу при стандартних умовах. Обчислюють кінцевий тиск газу і інших показників фізичних властивостей газу. Обчислення показників виконують в інтервальному вигляді з рівнянь (1) –(21).

20 В рамках даної моделі прямою задачею інтервального аналізу пошуковим методом для квазістаціонарного режиму транспорту природного газу на ділянці трубопроводу будемо називати визначення чисельного значення показників, $P_k(w)$, $T_k(w)$, які будемо розглядати як явно детерміновані функції від випадкових аргументів з рівномірним законом розподілу.

$$P_k(w) = \sqrt{\frac{P_n(w) \cdot T_n(w)}{T_k(w)}} \cdot \left(\frac{P_n(w)}{P_k(w)} \right)^{\frac{1}{2}} \cdot \left(\frac{T_n(w)}{T_k(w)} \right)^{\frac{1}{2}} \quad (1)$$

$$T_k(w) = \frac{P_n(w) \cdot T_n(w)}{P_k(w)} \cdot \left(\frac{P_n(w)}{P_k(w)} \right)^{\frac{1}{2}} \cdot \left(\frac{T_n(w)}{T_k(w)} \right)^{\frac{1}{2}} \quad (2)$$

де:

$P_n(w)$ - початковий тиск газу (атмосфери);

25 $T_n(w)$ - початкова температура (градуси Цельсія);

$q(w)$ - витрати газу (мільйонів m^3 за добу);

$Kt(w)$ - теплопередача конденсату в ґрунт (вт/(м*с));

$E(w)$ - коефіцієнт ефективності;

$P_k(w)$ - кінцевий тиск газу, атмосфери;

30 $T_k(w)$ - кінцева температура.

Константи:

T_0 - температура ґрунту;

D - внутрішній діаметр ділянки трубопроводу;

Dn - зовнішній діаметр ділянки трубопроводу;

35 L - довжина ділянки трубопроводу;

P_0 - щільність газу при стандартних умовах;

Δ - відносна щільність газу по повітрю;

k - коефіцієнт шорсткості;

g - коефіцієнт вільного падіння;

40 R - газова постійна;

P_0 - тиск зовнішнього середовища.

В процесі розрахунку значень кінцевих показників тиску газу і температури - $P_k(w)$, $T_k(w)$, на ділянці трубопроводу може статися дві ситуації. В першому випадку треба визначити ці показники в умовах повної поінформованості про їх значення. В другому випадку, наприклад, в процесі прогнозування напрямків роботи, відомі лише їх інтервальні значення. Тому в програмній системі передбачено використання «звичайної», евклідової арифметики та класичної інтервальної арифметики.

В рамках інтервального підходу початкові дані і проміжні результати представляються граничними значеннями, над якими і виконуються всі операції. При цьому самі операції (перш за все арифметичні) визначаються таким чином, що результат відповідає точній операції і обов'язково знаходиться усередині обчислювальних меж.

5 Наведемо правила виконання операцій інтервальної арифметики:

Арифметичні операції з інтервальними числами виконуються згідно з правилами класичної інтервальної арифметики [14, 15]:

$$A + B = [\underline{a}; \bar{a}] + [\underline{b}; \bar{b}] = [\underline{a} + \underline{b}; \bar{a} + \bar{b}]; \quad (3)$$

$$A - B = [\underline{a}; \bar{a}] - [\underline{b}; \bar{b}] = [\underline{a} - \bar{b}; \bar{a} - \underline{b}]; \quad (4)$$

$$10 \quad k \bullet [\underline{a}; \bar{a}] = \begin{cases} [k\underline{a}, k\bar{a}] & k \geq 0; \\ [\bar{k}a, \bar{k}a] & k < 0; \end{cases} \quad (5)$$

$$A * B = [\underline{a}; \bar{a}] * [\underline{b}; \bar{b}] = [\min\{\underline{a} \cdot \underline{b}, \underline{a} \cdot \bar{b}, \bar{a} \cdot \underline{b}, \bar{a} \cdot \bar{b}\}, \max\{\underline{a} \cdot \underline{b}, \underline{a} \cdot \bar{b}, \bar{a} \cdot \underline{b}, \bar{a} \cdot \bar{b}\}]; \quad (6)$$

$$A / B = [\underline{a}; \bar{a}] / [\underline{b}; \bar{b}] = [\underline{a}; \bar{a}] * [1/\bar{b}, 1/\underline{b}]; \quad 0 \notin B \quad (7)$$

Виникаюча при обчисленнях меж похибка враховується за допомогою спрямованих округлювань: менша з обчислювальних меж отримується округленням до найближчого машинного числа з не достатком, а більша – з надмірністю. Таким чином, інтервальний підхід дозволяє однаковим способом врахувати всі види похибок обчислювального процесу: приблизно відомі початкові дані поміщаються в гарантовано отримуване точне значення границі. Похибка округлень лиш декілька розширює границі проміжних результатів, а сам обчислювальний метод будується так, щоб його похибка також включалась в обчислювальні границі кінцевого результату.

Сучасні методи інтервального аналізу, крім інтервальних арифметичних операцій, мають достатньо розвинуті засоби для вирішення багатьох задач, але загальний недолік цих методів – широкі інтервальні оцінки результату, що несприятливе не тільки для проведення практичних розрахунків, але і для подальшого аналізу даної моделі [2, 3].

25 Додержуючись роботи [16] введемо розширену інтервально-арифметичну структуру $M = ((R), +, -, \times, /)$, де $(R) = \{[a^-, a^+], a^- \leq a^+, a^-, a^+ \in R\}$ - множина дійсних інтервалів; $(+, -, \times, /)$ і $(+^-, -^-, \times^-, /^-)$ - стандартні і нестандартні інтервальні операції додавання і добутку відповідно дійсним інтервалам $A = [a^-, a^+], B = [b^-, b^+]$

Для програмної реалізації представимо значення інтервальних чисел A і B в формі центр-радіуса $A = \langle a, r_a \rangle$, $B = \langle b, r_b \rangle$, де

$$a = \frac{a^- + a^+}{2}, \quad r_a = \frac{a^+ - a^-}{2}, \quad b = \frac{b^- + b^+}{2}, \quad r_b = \frac{b^+ - b^-}{2} \quad (8)$$

центри та радіуси відповідно інтервалів A і B [4].

Нестандартна інтервально-арифметична операція додавання визначається так:

$$A +^- B = \langle a + b, |r_a - r_b| \rangle. \quad (9)$$

35 Нестандартна інтервально-арифметична операція віднімання визначається так:

$$A -^- B = \langle a - b, |r_a - r_b| \rangle. \quad (10)$$

Нестандартна інтервально-арифметична операція добутку визначається так:

$$A \times^- B = \langle ab - \text{sgn}(ab)r_a r_b, |ar_b - \text{sgn}(ab)br_a| \rangle, \quad \text{якщо } \frac{|a|}{r_a} \geq 1, \frac{|b|}{r_b} \geq 1 \quad (11)$$

$$A \times^- B = \langle ab - \text{sgn}(b)ar_b, |br_a - \text{sgn}(b)ar_b| \rangle, \quad \text{якщо } \frac{|a|}{r_a} < 1, \frac{|a|}{r_a} < \frac{|b|}{r_b} \quad (12)$$

$$40 \quad A \times^- B = \langle ab - \text{sgn}(a)br_b, |ar_a - \text{sgn}(a)br_b| \rangle, \quad \text{якщо } \frac{b}{r_b} < 1, \frac{|a|}{r_a} \geq \frac{|b|}{r_b}. \quad (13)$$

Нестандартна інтервально-арифметична операція ділення визначається так:

$$A /^- B = \frac{1}{b^2 - r_b^2} \langle ab - \text{sgn}(ab)r_a r_b, |ar_b - \text{sgn}(ab)br_a| \rangle, \quad \text{якщо } \frac{|b|}{r_b} > 1, \frac{|a|}{r_a} \geq 1 \quad (14)$$

$$A /^- B = \frac{1}{b^2 - r_b^2} \langle ab - \text{sgn}(b)ar_b, |br_a - \text{sgn}(b)ar_b| \rangle, \quad \text{якщо } \frac{|b|}{r_b} > 1, \frac{|a|}{r_a} < 1 \quad (15)$$

$$\text{якщо } \frac{|\underline{a}|}{\underline{a}_0} < 1, \frac{|\underline{a}|}{\underline{a}_0} < 1 \quad (16).$$

Будь-який інтервал повністю задається двома числами своїми кінцями, але на практиці часто використовують і інші характеристики інтервалів. Важливішими з них є середина (центр) інтервалу, яка визначається так:

$$\text{mida} = \frac{1}{2}(\bar{a} + \underline{a}), \quad (17)$$

і радіус

$$\text{rada} = \frac{1}{2}(\bar{a} - \underline{a}) \quad (18).$$

Часто замість радіуса розглядається еквівалентне поняття ширини інтервалу

$$\text{wida} = \bar{a} - \underline{a}. \quad (19).$$

Інтервальні розширення (1), (2) будуть мати такий вигляд:

$$[P_k(\omega), \overline{P_k(\omega)}] = \sqrt{[P_H(\omega), \overline{P_H(\omega)}]^2 - \frac{\Delta L P_0 [T_H(\omega), \overline{T_H(\omega)}] \cdot [q(\omega), \overline{q(\omega)}]^2 \alpha \lambda}{D^{5,2} [E(\omega), \overline{E(\omega)}]^2 g \pi^2 R_v T_0^2}} \quad (20)$$

$$[T_k(\omega), \overline{T_k(\omega)}] = T_0 + ([T_H(\omega), \overline{T_H(\omega)}] - T_0) \cdot e^{-\frac{62,6 \cdot [K_t(\omega), \overline{K_t(\omega)}] D_B \cdot L}{10^6 [q(\omega), \overline{q(\omega)}] \Delta \cdot S}}. \quad (21)$$

Для повноти картини треба сказати про те, що усередині інтервальної математики існує тенденція до комбінування в одному методі традиційних і інтервальних обчислень. Здійснюється таке комбінування таким чином; спочатку із інтервалів з початковими даними беруться числа-представники і за допомогою традиційних обчислень знаходиться приблизне (в класичному сенсі) рішення задачі, а потім це рішення за допомогою інтервальних обчислень розширюється на всю область визначення вихідних даних. Таким чином подібні методи суміщають в себе властивості обох згаданих вище підходів. В іноземній літературі такі методи отримали назву inclusion methods - «методи включення».

Друга задача. Вирішують зворотну задачу пошуку вхідних значень тиску газу, витрат газу і коефіцієнта ефективності. Цю задачу обчислюють по заданому значенню вихідного тиску газу з рівнянь (22) – (24).

Для визначення значень показників (факторів) $P_H(\omega), T_H(\omega), q(\omega), K_t(\omega), E(\omega)$, які б мали можливість забезпечити необхідне значення кінцевих показників $P_k(\omega), T_k(\omega)$ вирішують зворотну задачу багатофакторного факторного аналізу (БФА).

Зворотна задача виникає при контролі режиму роботи на ділянці трубопроводу, коли задано бажаний рівень значення кінцевих показників і необхідно підібрати такі значення аргументів, які можуть забезпечити його досягнення.

Основним практичним результатом запропонованого способу буде слугувати так звана зворотна задача системного аналізу для статистичних систем, заданих залежністю вхід-стан-вихід: для заданих входів і виходів системи знайти (або якось оцінити) її стан.

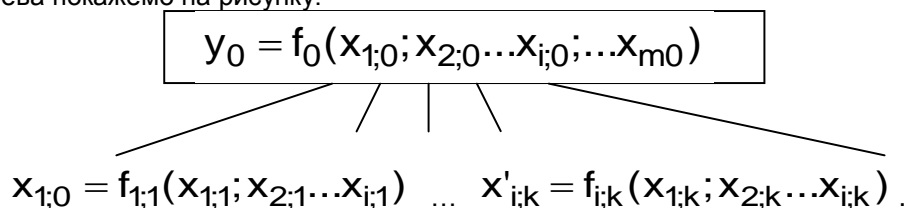
Особливістю ситуації, з якою ми будемо мати справу, полягає в тому, що входи і виходи системи не є заданими точно. Для них будуть відомі лише межі їх можливих значень (змін), верхня й нижня, або, що еквівалентно, нам будуть задані тільки інтервали, в межах яких можуть знаходитися значення входів і виходів.

Згідно з роботами [3,4] підсумковий показник будемо вважати коренем дерева. Представимо його у наступному вигляді:

$$y_0 = f_0(x_{1;0}; x_{2;0} \dots x_{n;0}), \quad (22)$$

де y_0 – показник першого рівня (підсумковий), $x_{1;0}; x_{2;0} \dots x_{n;0}$ – аргументи першого рівня.

Побудову дерева покажемо на рисунку:



Фіг. 1. Структура дерева формул

(далі продовжувати за аналогічною схемою).

Будемо вважати, що на кожному рівні в функціональну залежність виду $f_{ik}(x_{1,0}; x_{2,0} \dots x_{ik})$, тобто залежність i -ого рівняння змінної k -рівня входять всі змінні даного рівня. Частина з них може бути нульовою. Усі вершини дерева розв'язків поділимо на дві групи. Термінальними назвемо вершини дерева, в які не входить жодна гілка. Нетермінальними назвемо вершини, до яких входить хоча б одна гілка. Таким чином, усі вершини, які відповідають вхідним даним, будуть термінальними. Нетермінальна вершина, з якої не виходить жодна гілка, буде відповідати результату розв'язання задачі.

Таким чином, прямою задачею економічного аналізу будемо називати систему

$$\langle X, Y, Z, P \rangle \xrightarrow{A} R. \quad (23)$$

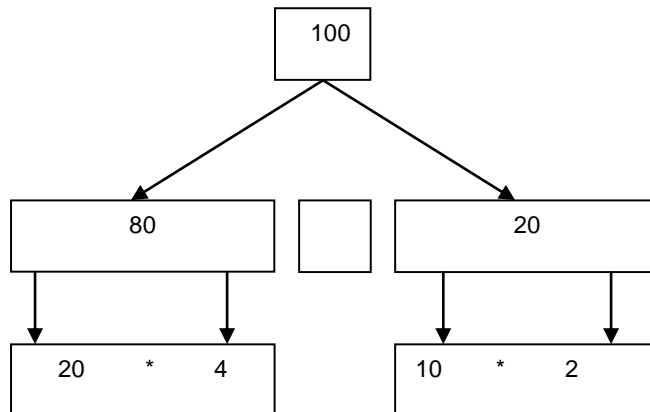
В цьому виразі прийнято, що X -множина змінних, які входять до складу умов (13,14), Y, Z -множини індикаторів, P - множина можливих формул, A -відображення з $2k$ вимірному простору R^+ вхідних даних у одновимірний простір R вихідних результатів. Зворотною задачею економічного аналізу будемо називати задачу вибору такого набору змінних X, Y, Z , який забезпечує найкраще наближення отриманого показника R до заздалегідь заданого показника R^* [5]. Згідно з теорією зворотних задач [6, 7] як процедури регуляризації виберемо розв'язання оптимізаційної задачі виду:

$$I = \min_X |R - R^*|, \quad X \in X_a, \quad (24)$$

де X_a - область можливих значень вектора X .

В виразі (15) прийнято, що R^* - заздалегідь задане значення показника. Мірою відстані отриманого розв'язку від заданого значення параметра вибрано модуль різниці між заздалегідь запланованим значенням економічного показника R^* та його обчисленим значенням R . Із структури задачі (4) надходимо до висновку, що найбільш раціональним методом її розв'язання буде пошуковий метод. З багатьох можливих пошукових методів розв'язання задачі мінімізації виберемо метод, викладений в роботі [8]. Метод ґрунтується на використанні майже рівномірно розподілених послідовностей. На відміну від класичного методу витоків рівномірних точок були використані рівномірно розподілені випадкові числа. Розглянемо використання цього методу на прикладі.

Приклад. Дано число 100, яке є сумою з двох чисел 80 та 20, які в свою чергу складаються з добутків $20 \cdot 4$ та $10 \cdot 2$ відповідно. Необхідно змінити числа щоб отримати число 105, якщо діапазон інтервалу кожного елемента дорівнює $\pm 5\%$ Дерево розв'язання задачі наведено на Фіг.2.



Фіг. 2. Структура дерева розв'язків для Прикладу.

Розв'язання задачі складається з наступних кроків:

крок 1: визначаємо бажане значення підсумкового показника Y_0 .

крок 2: визначаємо можливий інтервал невизначеності покрокового показника, тобто інтервали визначення змінних нульового рівня.

крок 3: обчислюємо можливий інтервал для Y_0 .

Якщо $y_0 \in [y_n; y_b]$, де y_n, y_b - ліва і права границя можливих значень y_0 , то задача має розв'язок.

Якщо $y_0 \notin [y_n; y_b]$, то задача не має розв'язку.

Крок 4: (цей крок використовується як загальний крок алгоритму). Якщо задача не має розв'язку, то необхідно змінити інтервали невизначеності аргументів нульового рівня. Якщо задача має розв'язок, то пошук значень змінних починають із рівня дерева з найбільшим номером.

5 Для пошуку значень змінних використовується властивість методу, яка полягає у тому, що $ЛП_*$ – послідовність може бути замінена випадковими рівномірно розподіленими числами [7].

Для кожної змінної, визначають рівномірно розподілені випадкові числа, які будуть належати заздалегідь визначеному інтервалу можливих значень.

10 Крок 5: Для вибраних випадкових чисел обчислимо відповідний показник і виберемо ті значення, для яких модуль відхилення розрахункового значення від бажаного не перевищує заданої точності.

Крок 6: Маючи розрахункові інтервали невизначеності, обчислимо інтервал відповідного показника для рівня дерева з найменшим номером.

15 Ці процедури тривають до досягнення нульового рівня. Якщо задача не виконана, то процес починається із кроку 1. Таблицю розв'язків для приклада наведено на Фіг. 3.

	A	B	C	D	E	F	G	H
1	20	4	10	2	A*B	C*D	E+F	G-105
2	19	3,8	9,5	1,9	72,2	18,05	90,25	-14,75
3	19,1	3,82	9,55	1,91	72,962	18,2405	91,2025	-13,7975
4	19,2	3,84	9,6	1,92	73,728	18,432	92,16	-12,84
5	19,3	3,86	9,65	1,93	74,498	18,6245	93,1225	-11,8775
6	19,4	3,88	9,7	1,94	75,272	18,818	94,09	-10,91
7	19,5	3,9	9,75	1,95	76,05	19,0125	95,0625	-9,9375
8	19,6	3,92	9,8	1,96	76,832	19,208	96,04	-8,96
9	19,7	3,94	9,85	1,97	77,618	19,4045	97,0225	-7,9775
10	19,8	3,96	9,9	1,98	78,408	19,602	98,01	-6,99
11	19,9	3,98	9,95	1,99	79,202	19,8005	99,0025	-5,9975
12	20	4	10	2	80	20	100	-5
13	20,1	4,02	10,05	2,01	80,802	20,2005	101,0025	-3,9975
14	20,2	4,04	10,1	2,02	81,608	20,402	102,01	-2,99
15	20,3	4,06	10,15	2,03	82,418	20,6045	103,0225	-1,9775
16	20,4	4,08	10,2	2,04	83,232	20,808	104,04	-0,96
17	20,5	4,1	10,25	2,05	84,05	21,0125	105,0625	0,0625
18	20,6	4,12	10,3	2,06	84,872	21,218	106,09	1,09
19	20,7	4,14	10,35	2,07	85,698	21,4245	107,1225	2,1225
20	20,8	4,16	10,4	2,08	86,528	21,632	108,16	3,16
21	20,9	4,18	10,45	2,09	87,362	21,8405	109,2025	4,2025
22	21	4,2	10,5	2,1	88,2	22,05	110,25	5,25

Фіг. 3. Таблиця розв'язків для прикладу.

20 Зробимо пояснення до наведеного результату. Так, від значення кожного елемента відніманням і додаванням 5 % отримаємо його інтервальне значення та занесемо їх у таблицю. Наступним кроком знайдемо стовбець E та F. Для цього проведемо необхідні арифметичні операції, у нашому випадку це множення. Далі знайдемо стовбець G. Він знаходиться додавання стовпця E та F. У стовпці H знаходимо саме ту комбінацію стовпців A, B, C, та D, яка
25 найближче знаходиться до значення 105. Відповідь знаходиться у рядку 17.

Вищевказані задачі можуть бути вирішені за допомогою обчислювального пристрою, на відповідні входи якого подають сигнали від вищевказаних датчиків.

30 За допомогою виконавчого механізму (регулюючого клапана) на вхідній ділянці автоматично підтримують необхідний тиск. (Тиск, необхідний для отримання бажаних значень параметрів на вихідній ділянці.)

Результати обчислювального експерименту представлені на Фіг.1 і 2.

На Фіг.1 наведені результати розрахунків другого програмного блока 16 кінцевого тиску газу.

Вирішити зворотну задачу по тиску

Рішення зворотної задачі по тиску

Бажане значення кінцевого тиску газу =	44	
Може бути досягнуто при:	0,001493978	37
$P_n(\text{т})$ - початковий тиск газу	50,70066828	52,76163147
$q(\text{т})$ - витрати газу за добу	12,16490345	12,18635416
$E(\text{т})$ - Коефіцієнт ефективності	0,969849184	0,970021063

Фіг. 1 Результати вирішення зворотної задачі по тиску газу

Пояснення результатів розрахунку:

- 5 Після введення в поле «Бажане значення кінцевого тиску газу» значення, яке треба отримати на виході (в нашому прикладі 44), результати розрахунків такі:

Бажане значення тиску газу 44 може бути досягнуто з похибкою в 0,00149378 при початковому тиску газу в інтервалі [50,70066828, 52,76163147], витрат газу за добу в інтервалі [12,16490345, 12,18635416], коефіцієнта ефективності в інтервалі [0,969849184, 0,970021063].

- 10 На Фіг. 2 наведені результати розрахунків другого програмного блока 16 кінцевої температури газу.

Вирішити зворотну задачу по температурі

Рішення зворотної задачі по температурі

Бажане значення кінцевої температури =	34	
Може бути досягнуто при:	0,039026777	86
$T_n(\text{т})$ - Початкова температура	56,85862829	61,0795412
$q(\text{т})$ - Витрати газу за добу	12,17173102	12,1931817

$K_t(\text{т})$ - теплопередача в ґрунт 1,330897039 1,33116231

Фіг.2 Результати вирішення зворотної задачі по температурі газу.

- 15 Пояснення результатів розрахунку:

Після введення в поле «Бажане значення кінцевої температури газу» значення, яке треба отримати на виході (в нашому прикладі 34), результати розрахунків такі:

- 20 Бажане значення кінцевої температури газу 34 може бути досягнуто з похибкою в 0,039026777 при початковій температурі газу в інтервалі [56,85862829, 61,0795412], витрат газу за добу в інтервалі [12,17173102, 12,1931817], коефіцієнта ефективності в інтервалі [1,330897039, 1,33116231].

Таким чином, запропонований спосіб дозволяє забезпечити можливість визначення вхідних параметрів тиску і температури газу для отримання заданих значень тиску і температури на

виході ділянки трубопроводу та забезпечити вибір оптимального режиму транспорту газу оперативно і максимально точно.

ФОРМУЛА КОРИСНОЇ МОДЕЛІ

5

1. Спосіб визначення та регулювання параметрів транспорту природного газу на ділянці трубопроводу шляхом пропускання газу послідовно через регулюючий клапан, турбулентний та ламінарний дроселі на цій ділянці, вимірювання значень тиску та температури газу на ділянці від входу до виходу, причому тиск вимірюють на вході перед турбулентним дроселем і на виході після ламінарного дроселя, температуру вимірюють на вході перед турбулентним дроселем, значення цих показників передають на обчислювальний пристрій, який після обробки отриманих значень в програмних модулях подає управляючий сигнал на регулюючий клапан для підтримання оптимальних вхідних значень тиску газу, який **відрізняється** тим, що в обчислювальному пристрої визначення параметрів здійснюють методами імітаційного моделювання та інтервального аналізу в програмних блоках для вирішення прямої та зворотної задачі інтервального аналізу, при якому шляхом поєднання цих методів визначають значення параметрів на вхідній ділянці, необхідні для отримання бажаних значень параметрів на вихідній ділянці.

10

15

20

25

30

2. Спосіб за п. 1, який **відрізняється** тим, що після ламінарного дроселя додатково визначають температуру та витрати газу, отримані дані передають в обчислювальний пристрій, в якому на першому етапі, використовуючи метод імітаційного моделювання, визначають можливі області пошуку значень вхідних параметрів тиску та температури, на другому етапі, використовуючи метод нестандартних інтервальних арифметичних операцій, вирішують пряму задачу для визначення вихідних параметрів тиску та температури, на третьому етапі вирішують зворотну задачу для визначення значень вхідних параметрів тиску та температури для бажаного значення вихідних параметрів, використовуючи пошуковий метод інтервального аналізу.

3. Спосіб за одним з пунктів 1 або 2, який **відрізняється** тим, що на третьому етапі визначають вхідні значення тиску газу, витрат газу, коефіцієнта ефективності, температури газу, які забезпечують необхідне значення кінцевих значень тиску і температури газу за допомогою вирішення в автоматизованому обчислювальному пристрої зворотної задачі, що включає визначення бажаних значень підсумкового показника Y_0 за формулою:

$$Y_0 = f_0(x_{1;0}; x_{2;0} \dots x_{n;0}),$$

де y_0 - показник першого рівня (підсумковий), $x_{1;0}; x_{2;0} \dots x_{n;0}$ - аргументи першого рівня із наступною структурою дерева формул

35

$$Y_0 = f_0(x_{1;0}; x_{2;0} \dots x_{i;0}; \dots x_{m;0})$$

$$x_{1;0} = f_{1;1}(x_{1;1}; x_{2;1} \dots x_{i;1}) \quad \dots \quad x'_{i;k} = f_{i;k}(x_{1;k}; x_{2;k} \dots x_{i;k})$$

та визначення можливого інтервалу невизначеності покрокового показника, тобто інтервалів визначення змінних нульового рівня, обчислення можливого інтервалу для Y_0 , обчислення для вибраних випадкових чисел відповідних показників і вибирання тих значень, для яких модуль відхилення розрахункового значення від бажаного не перевищує заданої точності та маючи розрахункові інтервали невизначеності, обчислення інтервалу відповідного показника для рівня дерева з найменшим номером.

40