



УКРАЇНА

(19) **UA** (11) **121645** (13) **C2**  
(51) МПК (2020.01)  
**G01N 7/00**  
**G01F 1/34** (2006.01)

МІНІСТЕРСТВО РОЗВИТКУ  
ЕКОНОМІКИ, ТОРГІВЛІ ТА  
СІЛЬСЬКОГО ГОСПОДАРСТВА  
УКРАЇНИ

**(12) ОПИС ДО ПАТЕНТУ НА ВИНАХІД**

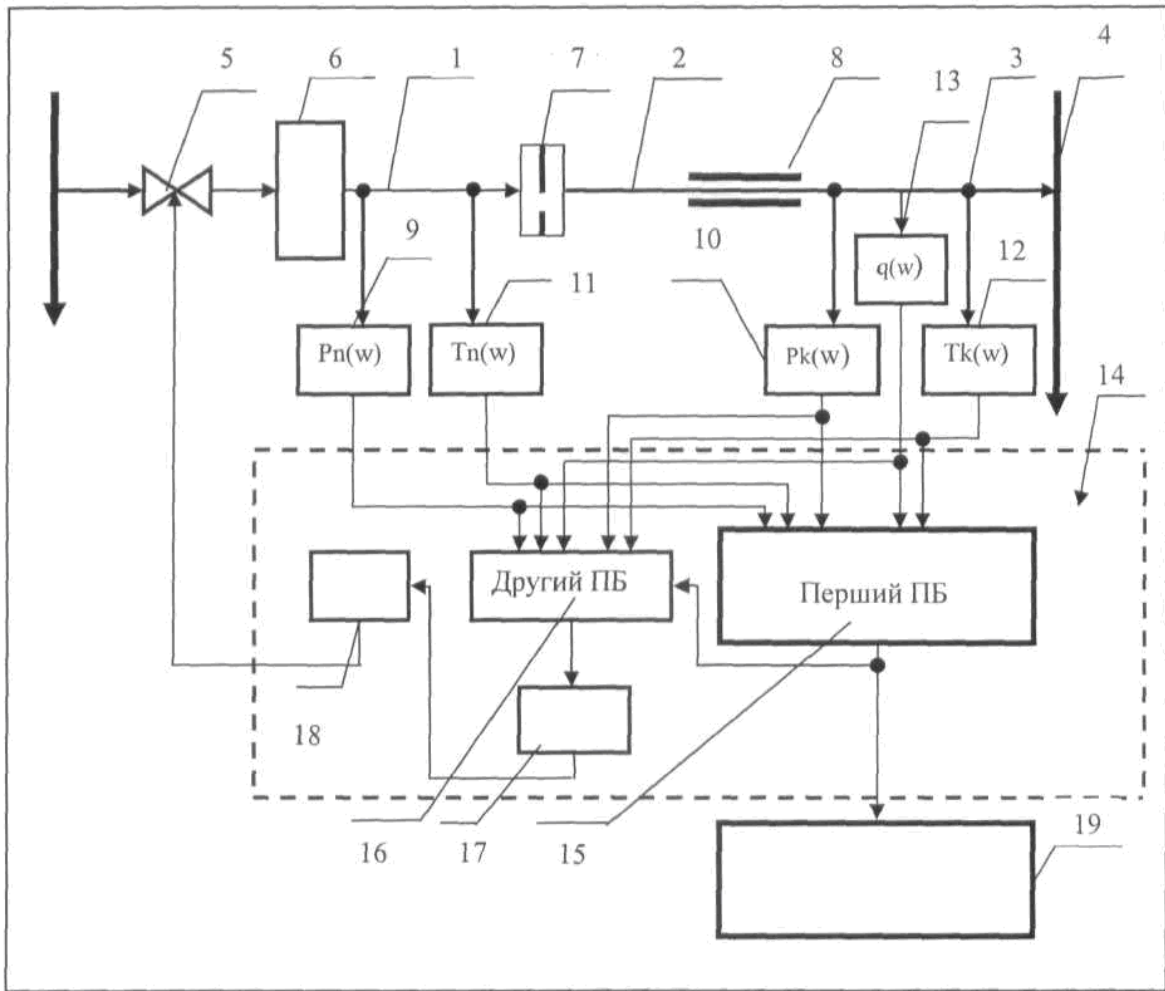
- (21) Номер заявки: **а 2015 06756**
- (22) Дата подання заявки: **08.07.2015**
- (24) Дата, з якої є чинними права на винахід: **10.07.2020**
- (41) Публікація відомостей про заявку: **25.12.2015, Бюл.№ 24**
- (46) Публікація відомостей про видачу патенту: **10.07.2020, Бюл.№ 13**
- (72) Винахідник(и):  
**Кобилін Анатолій Михайлович (UA),  
Тевяшев Андрій Дмитрович (UA),  
Кобилін Олег Анатолійович (UA)**
- (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)**
- (74) Представник:  
**Ніколаєнко Вікторія Миколаївна, реєстр. №251**
- (56) Перелік документів, взятих до уваги експертизою:  
RU 2269113 C1, 27.01.2006  
US 4384792 A, 24.05.1983  
US 5551282 A, 03.09.1996  
RU 2290623 C1, 27.12.2006  
DE 19736528 A1, 25.02.1999  
JPH 05142066 A, 08.06.1993  
DE 4118781 A1, 10.12.1992  
EP 0591639 A2, 13.04.1994  
Співак І.Я. Імітаційне обчислення: опорний конспект лекцій. / І.Я. Співак ; М-во освіти і науки України, Терн. нац. екон. – Тернопіль: ТНЕУ, 2011. – С. 1-13  
Стеценко, І.В. Моделювання систем: навч. посіб. [Електронний ресурс, текст] / І.В. Стеценко ; М-во освіти і науки України, Черкас. держ. технол. ун-т. – Черкаси : ЧДТУ, 2010. – С. 1-4
- (56) Розрахунок гідродинамічних параметрів стану об'єктів транспорту газу / С. Гладун, Н. Притула, Б. Землянський, О. Химко // Вісник Національного університету "Львівська політехніка". – 2008. – № 629 : Комп'ютерні науки та інформаційні технології. – С. 92-99. [Інтернет - публікація] URL: <http://ena.lp.edu.ua/bitstream/ntb/572/1/13.pdf> (знайдено 04.01.2019)  
Тепловий режим транспортування газу / Н. Притула, М. Притула, В. Ямнич, А. Дацюк, С. Гладун, О. Химко // Вісник Національного університету "Львівська політехніка". – 2011. – № 710 : Комп'ютерні науки та інформаційні технології. – С. 234-240. [Інтернет - публікація] URL: [http://ena.lp.edu.ua/bitstream/ntb/12140/1/40\\_%D0%A2%D0%95%D0%9F%D0%9B%D0%9E%D0%92%D0%98%D0%99%20%D0%A0%D0%95%D0%96%D0%98%D0%9C.pdf](http://ena.lp.edu.ua/bitstream/ntb/12140/1/40_%D0%A2%D0%95%D0%9F%D0%9B%D0%9E%D0%92%D0%98%D0%99%20%D0%A0%D0%95%D0%96%D0%98%D0%9C.pdf)  
Карпов Ю. Имитационное моделирование систем. Введение в моделирование с AnyLogic 5. / Ю. Карпов. – СПб.: БХВ - Петербург, 2005. – С. 319-378.  
Боярин І. Оптимізація роботи багатоцехових компресорних станцій з різнотипними газоперекачувальними агрегатами / І. Боярин, Р. Боровий, О. Гринів, Н. Притула, В. Ямнич // Вісник Національного університету "Львівська політехніка". – 2010. – № 672 : Комп'ютерні науки та інформаційні технології. – С. 326-335. [Інтернет - публікація] URL: <http://ena.lp.edu.ua/bitstream/ntb/7576/1/47.pdf>  
Притула Н. М. Математичне моделювання та чисельний аналіз режимів роботи газотранспортної системи : автореферат дисертації на здобуття наукового ступеня кандидата технічних наук : 01.05.02 – математичне моделювання та обчислювальні методи / Н. М. Притула ; Національний університет "Львівська політехніка". – Львів, 2009. – 20 с. – С. 15–17. [Інтернет - публікація] URL:<http://ena.lp.edu.ua/handle/ntb/3137>

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

UA 121645 C2

(57) Реферат:

Спосіб та система визначення та регулювання параметрів транспорту природного газу на ділянці трубопроводу, що стосуються області автоматичного контролю технологічних параметрів і показників фізичних властивостей природного газу в процесі його видобутку, транспортування, збереження та розподілення, і можуть бути використані для квазістаціонарного режиму транспорту природного газу при моделюванні режимів транспорту природного газу на ділянці трубопроводу. В способі за рахунок застосування об'єднаних програмних методів імітаційного моделювання і пошукових методів інтервального аналізу визначають параметри на вхідній ділянці, необхідні для отримання бажаних значень параметрів на вихідній ділянці. Система містить обчислювальний пристрій, в якому в першому програмному блоці встановлений програмний модуль для вирішення прямої задачі інтервального аналізу для визначення максимального і мінімального значення тиску та температури, в другому програмному блоці встановлений програмний модуль для вирішення зворотної задачі інтервального аналізу для заданих кінцевих значень тиску і температури газу, а на вихідній ділянці лінії контрольованого газу встановлений датчик витрат газу, вихід якого, з'єднаний із входом відповідного програмного блока. Спосіб та система здатні забезпечити можливість визначення вхідних параметрів тиску і температури газу, необхідних для отримання заданих значень тиску і температури на виході ділянки трубопроводу, та вибір оптимального режиму транспорту газу.



Винахід належить до 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.

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:

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

де:

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

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

$Z$  - коефіцієнт стисливості газу;

$$Z = 1 - P_{пр} \frac{T_{пр}^2}{T_{пр}};$$

$\delta W$  - витрата газу в трубі за одиницю часу, кг/с;

$$W = \frac{2002 P_{ср} f l}{1,033 T_{ср} Z} - \text{запас газу};$$

$T_{ср}$  - середнє значення температури газу на ділянці трубопроводу, К;

$P_{ср}$  - середнє значення тиску газу на ділянці трубопроводу, кгс/см<sup>2</sup>;

$f$  - площа поперечного перерізу труби, м<sup>2</sup>;

$l$  - довжина контрольованої ділянки трубопроводу, м;

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

$P_{пр}$  - приведенє значення тиску газу;

$T_{пр}$  - 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 за технічною суттю є патент RU 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, який 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.

Відома також система для визначення оптимальних параметрів транспорту природного газу

на ділянці трубопроводу, яка містить ділянку контрольованого газу, яка включає вхідну ділянку, підключену входом до джерела контрольованого газу, турбулентного і ламінарного дроселів, встановлених послідовно на лінії контрольованого газу, і вихідну ділянку, підключену виходом до лінії транспортування газу, виконавчого механізму (регулюючого клапана), встановленого на вхідній ділянці лінії контрольованого газу, датчиків абсолютного тиску, встановлених на лінії контрольованого газу відповідно, перед турбулентним дроселем і після ламінарного дроселя; датчиків температури, встановлених на вхідній ділянці перед турбулентним дроселем і після ламінарного дроселя, обчислювального пристрою, до входу якого підключені перелічені датчики, а до виходів підключений виконавчий механізм (регулюючий клапан), який встановлений перед вхідною ділянкою і з'єднаний з регулятором тиску газу перед турбулентним дроселем, і пристрій відображення інформації (Патент RU 2269113, опубл. 27.01.2006, Заявка № 2004118739 від 21.06.2004).

Недоліком відомого способу та системи за патентом RU 2269113 є відсутність можливості визначення вхідних параметрів тиску і температури газу для отримання заданих значень тиску і температури на виході ділянки трубопроводу по приведеній в ній 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 винаходу 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.

В основу винаходу поставлено також задачу в системі для визначення параметрів транспорту природного газу на ділянці трубопроводу шляхом введення в обчислювальний пристрій програмних блоків, здатних забезпечити можливість визначення значень вхідних параметрів тиску і температури газу, необхідних для отримання заданих значень тиску і температури на виході ділянки трубопроводу, та вибір оптимального режиму транспорту газу.

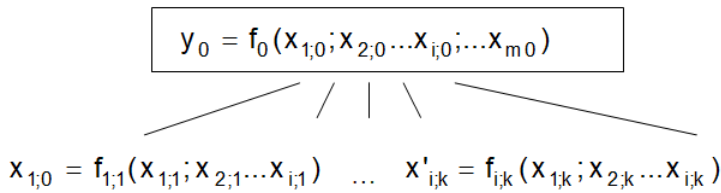
Поставлена задача вирішується завдяки тому, що в способі визначення та регулювання параметрів транспортування природного газу на ділянці трубопроводу, що включає пропускання газу послідовно через регулюючий клапан, турбулентний та ламінарний дроселі на цій ділянці, вимірювання значень тиску та температури 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 винаходом, 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 обчислювальній пристрої зворотної задачі, що включає визначення бажаних значень підсумкового показника  $Y_0$ :

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

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



та визначення можливого інтервалу невизначеності покорокового показни<sup>ра</sup> тобто інтервалів визначення змінних нульового рівня, обчислення можливого інтервалу для  $y_0$ , обчислення для  
 5  
 10  
 15  
 20  
 25  
 30  
 35

вибраних випадкових чисел відповідних показників і вибрання 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.

Поставлена задача вирішується також тим, що в системі для визначення параметрів транспорту природного газу на ділянці трубопроводу, яка містить ділянку контрольованого газу, що містить вхідну ділянку, підключену входом до джерела контрольованого газу, регулюючий клапан, встановлений на вхідній ділянці лінії контрольованого газу, турбулентний і ламінарний дроселі, встановлені послідовно на лінії контрольованого газу, і вихідну ділянку, підключену виходом до лінії транспортування газу, датчики абсолютного тиску, встановлені на лінії контрольованого газу, відповідно, перед турбулентним дроселем і після ламінарного дроселя; датчики температури, встановлені на вхідній ділянці перед турбулентним дроселем і після ламінарного дроселя, обчислювальний пристрій для обчислювання та регулювання показників фізичних властивостей газу, до входу якого підключені перелічені датчики, причому, обчислювальний пристрій містить перший програмний блок, другий програмний блок, цифровий регулятор та регулятор тиску газу, виходи датчиків, з'єднані із входами зазначених програмних блоків, вихід першого програмного блоку з'єднаний з одним із входів другого програмного блока і пристроєм відображення інформації, а вихід другого програмного блока з'єднаний з цифровим регулятором, що з'єднаний з регулятором тиску газу, вихід якого з'єднаний зі встановленим на вхідній ділянці лінії контрольованого газу зазначеним регулюючим клапаном, відповідно до винаходу на вихідній ділянці лінії контрольованого газу встановлений датчик витрат газу, вихід якого з'єднаний із входом відповідного програмного блока, а в обчислювальному пристрої в першому програмному блоці встановлений програмний модуль для вирішення прямої задачі інтервального аналізу для визначення максимального і мінімального значення тиску та температури, в другому програмному блоці встановлений програмний модуль для вирішення зворотної задачі інтервального аналізу для заданих кінцевих значень тиску та температури газу, визначення вхідних значень тиску газу, витрат газу і коефіцієнта ефективності експлуатації на різних ділянках газотранспортної системи.

Введення в запропоновану систему зазначених нових програмних модулів дозволяє визначити оптимальні параметри транспорту природного газу на ділянці трубопроводу оперативнo в режимі реального часу, а також визначити тиск, температуру і витрати газу на вхідній ділянці, необхідні для заданого кінцевого тиску і температури газу, а також дозволяє моделювати режими транспорту природного газу на ділянці трубопроводу і для заданого кінцевого тиску і температури газу, визначити тиск, температуру і витрати газу, що транспортується.

Винахід пояснюється кресленням, на якому зображено загальну схему запропонованої системи.

Спосіб визначення та регулювання параметрів транспортування природного газу на ділянці трубопроводу здійснюється в процесі роботи описаної нижче системи.

Система для визначення параметрів транспорту природного газу на ділянці трубопроводу містить власне ділянку контрольованого газу, яка також має вхідну ділянку 1, міждроселеву ділянку 2, і вихідну ділянку 3. Ділянка контрольованого газу підключена входом до джерела контрольованого газу, а виходом - до лінії 4 ділянки транспортування газу. На вхідній ділянці 1 лінії, на якій контролюється газ, встановлений виконавчий механізм, який виконаний у вигляді регулюючого клапана 5, та фільтр 6. Крім того, на ділянці контрольованого газу встановлені турбулентний дросель 7, ламінарний дросель 8 та датчики абсолютного тиску 9 і 10, з яких датчик 9 встановлений перед турбулентним дроселем 7, а датчик 10 - після ламінарного

дроселя 8. На ділянці трубопроводу, яка контролюється, встановлені також датчики температури 11, 12, з яких датчик 11 встановлений на вхідній ділянці 1 перед турбулентним дроселем 7, а датчик 12 - після ламінарного дроселя 8 на вихідній ділянці 3. На вихідній ділянці 3 встановлений датчик витрат газу 13. Система для визначення параметрів транспорту природного газу на ділянці трубопроводу містить також обчислювальний пристрій 14, до входу якого підключені всі перелічені вище датчики. Обчислювальний пристрій 14 містить перший програмний блок 15 для вирішення прямої задачі інтервального аналізу для визначення максимального і мінімального значення  $\text{Max}(\text{wid}(P_k))$ ,  $\text{Min}(\text{wid}(P_k))$ ,  $\text{Max}(\text{wid}(T_k))$ ,  $\text{Min}(\text{wid}(T_k))$ , другий програмний блок 16 для вирішення зворотної задачі інтервального аналізу для заданих кінцевих значень тиску і температури газу  $P_k(w)$ ,  $T_k(w)$  визначення вхідних значень тиску газу  $P_n(w)$ , витрат газу  $q(w)$ , коефіцієнта ефективності  $E(w)$ ,  $T_n(w)$ , програмний блок (цифровий регулятор) 17 і регулятор тиску газу 18. Виходи датчиків тиску, температури та витрат газу підключені в обчислювальному пристрої 14 як до програмного блока 15, так і до програмного блока 16. Вихід першого програмного блока 15 підключений до другого програмного блока 16 і пристрою відображення інформації 19. Вихід другого програмного блока 16 з'єднаний із входом програмного блока (цифрового регулятора) 17, вихід якого з'єднаний з регулятором тиску газу 18, вихід якого підключений до регулюючого клапана 5.

Спосіб здійснюють таким чином.

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

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

Контрольований газ проходить через регулюючий клапан 5, фільтр 6, турбулентний 7 і ламінарний 8 дроселі в лінію 4 ділянки транспорту газу. За допомогою регулюючого клапана 5 на вхідній ділянці 1 автоматично підтримується необхідний тиск. Фільтр 6 здійснює очистку газу від механічних сумішей і рідини, чим запобігається засмічення дроселів. При проходженні газу через турбулентний дросель 7 тиск  $P_k(w)$  в міждроселевій ділянці 2 знижується. Величина тиску  $P_k(w)$  залежить від щільності газу, а також від тиску  $P_n(w)$  перед турбулентним дроселем, температури  $T_k(w)$  газу в міждроселевій ділянці 2, а також від геометричних розмірів обох дроселів і коефіцієнта витрат турбулентного дроселя.

В запропонованому пристрої всі параметри вимірюються за допомогою датчиків 9, 10, 11, 12, 13 і сигнали від цих датчиків подаються на відповідні входи обчислювального пристрою 14. Обчислювальний пристрій вирішує дві задачі.

Перша задача. Обчислювальний пристрій 14 по вимірюваних за допомогою датчиків 9, 10, 11, 12 значеннях параметрів  $P_n(w)$ ,  $P_k(w)$ ,  $T_n(w)$ ,  $T_k(w)$  і заздалегідь ідентифікаційному коефіцієнту  $E(w)$ , а також датчика витрат газу 13 ( $q(w)$  - витрати газу (мільйонів  $\text{м}^3$  за добу), обчислює значення  $\text{Max}(\text{wid}(P_k(w)))$  тиску газу при стандартних умовах і виводить його на пристрій відображення інформації 19. Обчислення кінцевого тиску газу і інших вищевказаних показників фізичних властивостей газу здійснює перший програмний блок 15 обчислювального пристрою 14. Обчислення показників виконується в інтервальному вигляді з рівнянь (1)-(21).

Обчислювальний пристрій 14 вирішує пряму задачу інтервального аналізу пошуковим методом для квазістаціонарного режиму транспорту природного газу на ділянці трубопроводу, визначаючи чисельне значення показників,  $P_k(w)$ ,  $T_k(w)$ , які будемо розглядати як явно

детерміновані функції від відповідних аргументів з рівномірним законом розподілу.

$$P_k(\omega) = \sqrt{\frac{P_n^2(\omega) - \frac{D L T_0^2 P_n(\omega) 2 \rho q(\omega)}{R_v T_0^2}}{D^{5.2} E(\omega)^2 g \pi^2 R_v T_0^2}}, \quad (1)$$

$$T_k(\omega) = T_{rp} + (T_n(\omega) - T_{rp}) e^{-\frac{62.6 Kt(\omega) D \nu L}{10^6 q(\omega) \Delta S}}. \quad (2)$$

де:  
 $P_n(\omega)$  - початковий тиск газу (атмосфери);  
 $T_n(\omega)$  - початкова температура (градуси Цельсія);  
 $q(\omega)$  - витрати газу (мільйонів  $\text{м}^3$  за добу);  
 $Kt(\omega)$  - теплопередача конденсату в ґрунт (вт/(м·с));  
 $E(\omega)$  - коефіцієнт ефективності;  
 $P_k(\omega)$  - кінцевий тиск газу, атмосфери;

$T_k(\omega)$  - кінцева температура.

Константи:

$T_0$  - температура ґрунту;

5  $D$  - внутрішній діаметр ділянки трубопроводу;

$D_n$  - зовнішній діаметр ділянки трубопроводу;

$L$  - довжина ділянки трубопроводу;

$\rho_0$  - щільність газу при стандартних умовах;

$\Delta$  - відносна щільність газу по повітрю;

$k$  - коефіцієнт шорсткості;

10  $g$  - коефіцієнт вільного падіння;

$R$  - газова постійна;

$P_0$  - тиск зовнішнього середовища;

$T_{cp}$  - приблизне середнє значення;

$Z_{cp}$  - приблизне середнє значення.

15 Арифметичні операції з інтервальними числами виконуються згідно з формулами 3-7:

$$A + B = [a; a] + [b; b] = [a + b; a + b]; \quad (3)$$

$$A - B = [a; a] - [b; b] = [a - b; a - b]; \quad (4)$$

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

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

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

Запропоновані операції інтервального аналізу (3)-(7) мають достатньо розвинені методи для вирішення багатьох задач, але загальний недолік цих методів - широкі інтервальні оцінки результатів, що інколи не можуть бути використані як для проведення практичних розрахунків, так і для подальшого аналізу.

25 Для вирішення цієї проблеми вводиться розширена інтервально-арифметична структура  $M = ((R), +, -, \times, /, +^-, -^-, \times^-, /^-)$ , де  $I(R) = \{[a^-, a^+] \mid a^- \leq a^+, a^-, a^+ \in R\}$  - множина дійсних інтервалів;  $(+, -, \times, /)$  і  $(+^-, -^-, \times^-, /^-)$  - стандартні і нестандартні інтервальні операції додавання і добутку відповідно дійсним інтервалам  $A = [a^-, a^+]$   $B = [b^-, b^+]$

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

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

центри та радіуси відповідно інтервалів  $A$  і  $B$ .

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:

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

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

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

Нестандартна інтервально-арифметична операція ділення визначається так:

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

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

$$A/B = \frac{1}{b^2 - r_b^2} \langle ab - \text{sgn}(a)br_a, |ar_b - \text{sgn}(a)r_a r_b| \rangle, \quad \text{якщо } \frac{|b|}{r_b} < 1, \frac{|a|}{r_a} < 1 \quad (16)$$

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:

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

$$i \text{ радіус } \frac{1}{2}(a - \bar{a}). \quad (18)$$

Часто замість радіуса розглядається еквівалентне поняття ширини інтервалу  $wida = a - \bar{a}$ . (19)

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

$$[P_k(\omega), \overline{P_k(\omega)}] = \sqrt{[P_H(\omega), \overline{P_H(\omega)}] - \frac{[E(\omega), \overline{E(\omega)}]^2}{D^{5,2} g \pi^2 R_v T_0^2}}, \quad (20)$$

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

Друга задача. Обчислювальний пристрій 14 вирішує також зворотну задачу для визначення значень вхідних параметрів для бажаного значення вихідних параметрів.

Обчислювальний пристрій 14 по заданому значенню вихідного тиску газу сумісно з виконавчим механізмом (регулюючим клапаном) 5 реалізує функцію зворотної задачі пошуку вхідних значень тиску газу, витрат газу і коефіцієнта ефективності. Цю задачу реалізує другий програмний блок 16, з рівнянь (22)-(24).

Особливість вирішення зворотної задачі, полягає в тому, що входи і виходи системи не є заданими точно. Для них будуть відомі лише межі їх можливих значень (змін), верхня і нижня, або, що еквівалентно, нам будуть задані тільки інтервали, в межах яких можуть знаходитися значення входів і виходів.

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 структури дерева формули є наступною:

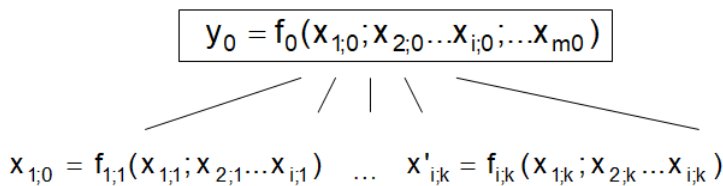


Рис. 3. Структура дерева формул (далі продовжувати за аналогічною схемою). Будемо вважати, що на кожному рівні у функціональну залежність виду  $f_{i,k}(x_{1,0}; x_{2,0} \dots x_{i,k})$ ,

тобто залежність і-того 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. Не термінальними назвемо вершини, до яких входить хоча б одна гілка. Таким чином, усі вершини, які відповідають вхідним даним, будуть термінальними. Не термінальна вершина, з якої не виходить жодна гілка, буде відповідати результату розв'язання задачі.

Таким чином, прямою задачею економічного аналізу будемо називати систему  $\langle X, Y, Z, P \rangle \xrightarrow{A} R$ . (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  $2k$  вимірного 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  $R^*$ . Згідно з теорією зворотних задач як процедуру регуляризації оберемо розв'язання оптимізаційної задачі виду:

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

де  $X_a$  - область можливих значень вектора  $X$ .

В результаті другий програмний блок 16 обчислювального пристрою 14 за допомогою вирішення зворотної задачі виконує функцію одержання необхідних значень вхідних параметрів для одержання бажаного значення кінцевого тиску та кінцевої температури газу.

За допомогою програмного блока (цифрового регулятора) 17, регулятора тиску газу 18 та регулюючого клапана 5 автоматично встановлюються необхідні параметри на вхідній ділянці 1 для одержання заданих значень параметрів на вихідній ділянці 3.

За допомогою датчиків 9, 10, 11, 12, 13 були виміряні всі необхідні параметри, значення яких були передані на відповідні входи обчислювального пристрою 14.

По виміряних за допомогою датчиків 9,10, 11,12 значеннях параметрів  $P_n(w)$ ,  $P_k(w)$ ,  $T_n(w)$ ,  $T_k(w)$  і заздалегідь ідентифікаційному коефіцієнту  $E(w)$ , а також датчика витрат газу 13 ( $q(w)$  - витрати газу (мільйонів  $m^3$  за добу), були обчислені значення  $\text{Max}(\text{wid}(P_k(w)))$  тиску газу при стандартних умовах і виведені на пристрій відображення інформації 19. У першому програмному блоці 15 були виконані обчислення кінцевого тиску газу і інших вищевказаних показників фізичних властивостей газу.

У програмний блок 16 були передані задані значення вихідних параметрів та реалізована функція зворотної задачі пошуку вхідних значень тиску газу, витрат газу і коефіцієнта ефективності.

В результаті проведених у програмному блоці 16 обчислень були одержані необхідні значення вхідних параметрів для одержання бажаних значень кінцевого тиску та кінцевої температури газу.

Далі, за допомогою програмного блока (цифрового регулятора) 17, регулятора тиску газу 18 та регулюючого клапана 5 були автоматично встановлені необхідні параметри на вхідній ділянці 1 для одержання заданих значень параметрів на вихідній ділянці 3.

Пояснювальний приклад. Дано число 100, яке є сумою з двох чисел 80 та 20, які в свою чергу складаються з добутоків  $20 \cdot 4$  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 рис.2.

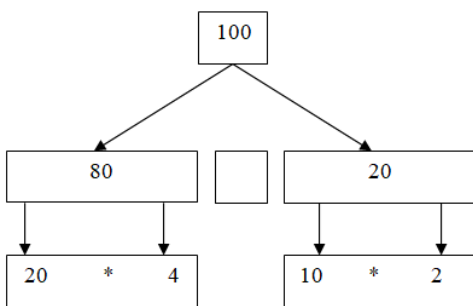


Рис. 2. Структура дерева розв'язків для приклада

Розв'язання задачі складається з наступних кроків:

крок 1: визначаємо бажане значення підсумкового показника  $Y_0$ .

крок 2: визначаємо можливий інтервал невизначеності покорокового 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 границі 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.

Для пошуку значень змінних використовується властивість методу, яка полягає у тому, що ЛП<sub>т</sub> - послідовність може бути замінена випадковими, рівномірно розподіленими числами.

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

Крок 5: Для обраних випадкових чисел обчислимо відповідний показник і оберемо 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.

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

Рис. 3. Таблиця розв'язків для прикладу

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 додаванням стовпця E та F. У стовпці H знаходимо саме ту комбінацію стовпців A, B, C, та D, яка 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.

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 рис.1 і 2.

На рис. 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
$P_n(\omega)$ - початковий тиск газу	50,70066828	52,76163147
$q(\omega)$ - витрати газу за добу	12,16490345	12,18635416
$E(\omega)$ - Коефіцієнт ефективності	0,969849184	0,970021063

Рис. 1 Результати вирішення зворотної задачі по тиску газу

5 Пояснення результатів розрахунку:

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 рис. 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
$T_n(\omega)$ - Початкова температура	56,85862829	61,0795412
$q(\omega)$ - Витрати газу за добу	12,17173102	12,1931817
$Kt(\omega)$ - теплопередача в ґрунт	1,330897039	1,33116231

Рис. 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].

25 Таким чином, запропонований винахід 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 ВИНАХОДУ**

30 1. Спосіб 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, один вимір температури здійснюють на вході перед турбулентним дроселем, значення  
35 цих показників передають на обчислювальний пристрій, в якому здійснюють обробку даних в двох програмних модулях, і після обробки отриманих значень в програмних модулях подають управляючий сигнал на регулюючий клапан для підтримання оптимальних вхідних значень тиску газу та температури, причому в першому програмному блоці обчислюють параметри газу,

які бажано мати на виході з ділянки транспорту газу, який **відрізняється** тим, що оптимальні вхідні значення тиску та температури газу обчислюють в другому програмному блоці, для чого після ламінарного дроселя здійснюють додатково вимір температури та витрат газу, і всі значення вимірюваних параметрів перед турбулентним дроселем і після ламінарного дроселя

5

подають на перший і на другий програмні блоки обчислювального пристрою і по введених в обчислювальний пристрій показниках визначають значення вхідних параметрів тиску та температури газу для заданих вихідних параметрів тиску та температури газу і передають їх на регулюючий клапан.

2. Система для визначення параметрів транспорту природного газу на ділянці трубопроводу, яка містить ділянку контрольованого газу, що містить вхідну частину ділянки, підключену входом до джерела контрольованого газу, регулюючий клапан, встановлений на вхідній частині ділянки лінії контрольованого газу, турбулентний і ламінарний дроселі, встановлені послідовно на лінії контрольованого газу, міждросельну частину ділянки і вихідну частину ділянки, підключену виходом до лінії транспортування газу, датчики абсолютного тиску, встановлені на лінії контрольованого газу, відповідно, перед турбулентним дроселем і після ламінарного дроселя, датчики температури, один з яких встановлений на вхідній частині ділянки перед турбулентним дроселем, обчислювальний пристрій для обчислювання показників фізичних властивостей газу, до входу якого підключені перелічені датчики, причому обчислювальний пристрій містить перший програмний блок для визначення максимального і мінімального кінцевого значення тиску та температури газу на виході ділянки трубопроводу, другий програмний блок, цифровий регулятор та регулятор тиску газу, виходи датчиків тиску та температури, які встановлені перед турбулентним дроселем, з'єднані з першим програмним блоком, вихід першого програмного блока з'єднаний із входом другого програмного блока і пристроєм відображення інформації, а вихід другого програмного блока з'єднаний з цифровим регулятором, що з'єднаний з регулятором тиску газу, вихід якого з'єднаний зі встановленим на вхідній частині ділянки лінії контрольованого газу регулюючим клапаном, яка **відрізняється** тим, що після ламінарного дроселя встановлений другий датчик температури та датчик витрат газу, виходи датчиків тиску, температури та витрат газу, встановлених після ламінарного дроселя, з'єднані з першим і другим програмними блоками, виходи датчиків тиску та температури, які встановлені перед турбулентним дроселем, з'єднані також з другим програмним блоком, який має програмне забезпечення для визначення вхідних значень тиску та температури газу.

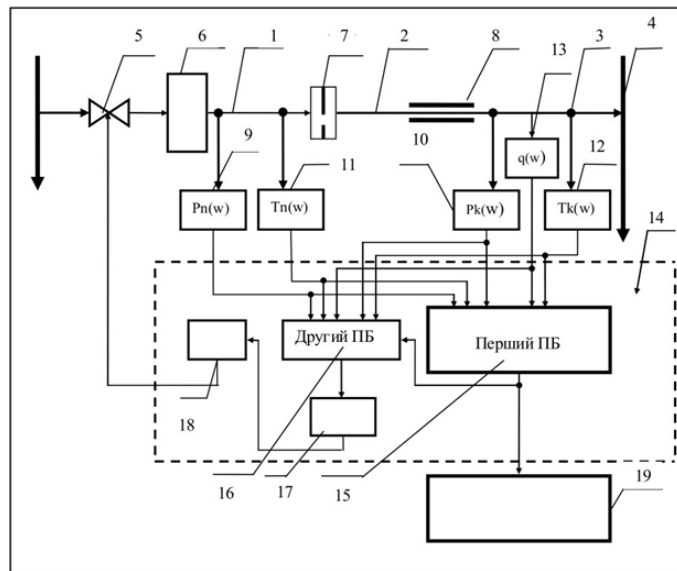
10

15

20

25

30



35

Комп'ютерна верстка А. Крулевський

Міністерство розвитку економіки, торгівлі та сільського господарства України,  
вул. М. Грушевського, 12/2, м. Київ, 01008, Україна

ДП "Український інститут інтелектуальної власності", вул. Глазунова, 1, м. Київ – 42, 01601