



УКРАЇНА

(19) UA (11) 47153 (13) A

(51) 6 F04D27/02

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ  
І НАУКИ УКРАЇНИДЕРЖАВНИЙ ДЕПАРТАМЕНТ  
ІНТЕЛЕКТУАЛЬНОЇ  
ВЛАСНОСТІОПИС  
ДО ДЕКЛАРАЦІЙНОГО ПАТЕНТУ  
НА ВИНАХІДВИДАЄТЬСЯ ПІД  
ВІДПОВІДАЛЬНІСТЬ  
ВЛАСНИКА  
ПАТЕНТУ

(54) СПОСІБ ЗАХИСТУ КОМПРЕСОРА ГАЗОПЕРЕКАЧУВАЛЬНОГО АГРЕГАТУ ВІД ПОМПАЖУ

1

2

(21) 2001085632

(22) 07 08 2001

(24) 17 06 2002

(46) 17 06 2002, Бюл. № 6, 2002 р.

(72) Дудко Павло Григорович, Колодяжний Валерій Васильович, Сорокін Олександр Олександрович, Хохряков Михайло Вікторович, Дістрянов Сергій Володимирович, Котлярів Володимир Олегович

(73) Дочірня компанія "УКРТРАНСГАЗ"

(57) Спосіб захисту компресора газоперекачувального агрегату від помпажу шляхом вимірювання поточних значень параметрів, які характеризують положення робочої точки компресора, уточнення та запам'ятовування положення межі помпажу і формування вихідного сигналу антипомпажного регулятора пропорційно віддаленості робочої точки компресора від межі помпажу, який **відрізняється** тим, що уточнення положення межі помпажу проводять, використовуючи математичне моделювання процесу наближення робочої точки до межі помпажу, для чого антипомпажний регулятор періодично переводять у стан "Корекція", створюють декілька режимів компресора, які встановилися і

відповідають різним значенням віддаленості, в кожному з зазначених режимів знаходять і запам'ятовують значення диференціального опору витратної характеристики компресора і розрахункові значення віддаленості, за цими зареєстрованими значеннями підбирають функцію, що апроксимує і описує залежність диференціального опору від розрахункового значення віддаленості, і шляхом екстраполяції цієї функції знаходять значення віддаленості, яке відповідає нульовій величині диференціального опору, знайдене значення віддаленості запам'ятовують як поправку, антипомпажний регулятор переводять у стан "Робота" і далі сигнал керування антипомпажним клапаном формують з урахуванням уточненого значення віддаленості, яке визначають за формулою

$$L_{yt} = L_{розр} - L',$$

де

 $L_{розр}$  - розрахункове значення віддаленості, $L'$  - поправка по віддаленості

Передбачуваний винахід відноситься до експлуатації компресорів, зокрема, до способів захисту компресорів від помпажу в системах транспортування газу

Відомий спосіб антипомпажного захисту компресора шляхом вимірювання витрати газу і перепаду тиску на лініях нагнітання та всмоктування компресора, визначення похідних за часом від перепаду тиску і від витрати газу, порівняння знаків похідних і, у випадку їх рівності, видачі сигналу на відключення компресора [1]

Даний спосіб антипомпажного захисту компресора, як і спосіб захисту компресора газоперекачувального агрегату від помпажу, котрий заявляється, включає вимірювання поточних значень параметрів, які характеризують положення робочої точки компресора, обробку даних і, як реакцію на результати обробки, подачу сигналів на виконавчі механізми, що керують роботою компресора. Проте, в даному способі-аналогі захист спрацю-

є тоді, коли помпаж вже відбувся, через те, що знаки сигналів з виходів диференціаторів збігаються при безпосередньому виникненні помпажу, а саме на такий збіг і налагоджена схема відключення компресора. Це говорить про те, що компресор, знаходячись якийсь час у стані помпажу, випробовує всі негативні наслідки даної аварійної ситуації (значні знакоперемінні змінення протидіючого моменту та осьові зусилля по валу силової турбіни, що викликають вібрацію, осьовий зсув ротора і т.ін.), особливо, якщо врахувати велику інерційність системи. Крім того, даний спосіб передбачає відключення компресора, а значить, виведення його з робочого стану, що з точки зору технологічних і економічних показників неприйнятне при використанні компресорів, наприклад, у складі цеху газоперекачувальної станції системи транспортування газу. З цих причин такий спосіб антипомпажного захисту компресора слід визнати недостатньо надійним і недостатньо якісним

(13) A

(11) 47153

(19) UA

Відомий також спосіб захисту від помпажу компресора, спорядженого байпасним клапаном та дросельною заслінкою на вході в компресор, шляхом вимірювання перепаду тиску газу на діафрагмі і тиску газу на виході з компресора, формування сигналу, який керує, в залежності від виміряного тиску газу та дії сигналом, який керує, на дросельну заслінку, а також формування сигналу наявності помпажу в залежності від виміряного перепаду тиску, при якому визначають відношення заданої величини до сигналу, який керує, і при значенні відношення більшим за одиницю встановлюють фіксоване положення дросельної заслінки, а також визначають різницю сигналу, який керує, та заданої величини і відкривають байпасний клапан пропорційно одержаній різниці, а також по сигналу наявності помпажу повністю відкривають байпасний клапан. При цьому на регулятор помпажного захисту подаються сигнали регулятора тиску та сигнал завдання, однаковий з сигналом завдання блоку вибору сигналу. Регулятор помпажного захисту підтримує тиск нагнітання дією на байпасний клапан по сигналу різниці між сигналом завдання та сигналом регулятора тиску. Регулятор помпажного захисту починає діяти на байпасний клапан, коли різниця сигналів більше нуля. В цьому випадку робочий режим компресора знаходиться на межі помпажу і необхідно відкриття байпасного клапана. У випадку потрапляння компресора в помпаж швидкодії регулятора не вистачає, при цьому необхідно за десятки долі секунди відкрити байпасний клапан. З цим справляється сигналізатор помпажу, котрий являє з себе пристрій, що спрацьовує тільки при помпажі, тобто коли алгебраїчна сума швидкості змінення витрати газу і швидкості змінення тиску газу буде негативною [2].

Даний спосіб захисту від помпажу компресора, як і спосіб захисту компресора газоперекачувального агрегату від помпажу, котрий заявляється, містить вимірювання поточних значень параметрів, які характеризують положення робочої точки компресора, обробку даних і, як реакцію на результати обробки, подачу сигналів на виконавчі механізми, які керують роботою компресора. Проте, в даному способі-аналогі відкривають байпасний кран пропорційно різниці сигналу, який керує, і заданої величини, котра є незмінною величиною, що принципово не дозволяє уточнювати змінення положення границі помпажу, які виникають в процесі експлуатації компресора і приводить або до підвищення імовірності помпажу або до збиткового відкриття байпасного крана. Крім того, даний спосіб передбачає можливість повного блокування компресора, який працює, через запобіжну систему з байпасним клапаном, що з точки зору економічних показників не вигідно при використанні компресора, наприклад, у складі цеху газоперекачувальної станції системи транспортування газу. У зв'язку з зазначеними причинами, такий спосіб захисту від помпажу компресора також є недостатньо надійним і недостатньо якісним.

Найближчим за технічною суттю аналогом, обраним в якості прототипу, є спосіб захисту турбокомпресора від помпажу шляхом відкриття протипомпажного клапана пропорційно відхиленню

комплексу параметрів від заданої величини, при якому в момент початку помпажу фіксують поточну величину комплексу параметрів і приймають останню в якості заданої величини. Спосіб передбачає, що поточні значення різниці тисків на виході та вході турбокомпресора ( $\Delta P$ ) і різниці тисків на місцевому опорі до вхідної лінії турбокомпресора ( $\Delta H$ ) підводяться до блоку ділення. При стійкій роботі компресора, що характеризується великим значенням витрати, поточне відношення ( $\Delta P$ ) і ( $\Delta H$ ), яке повторюється системою, яка слідує, і подається на вхід регулятора, залишається менше заданого значення параметра, що формується на вході інтегратора і подається з коефіцієнтом масштабування  $\alpha$  на інший вхід регулятора, при цьому протипомпажний клапан залишається закритим. При наблизенні режиму роботи компресора до межі помпажу поточне відношення ( $\Delta P$ ) до ( $\Delta H$ ) підвищується впритул до значення, яке відповідає завданню регулятора. Регулятор вступає у роботу, діючи на відкриття протипомпажного клапана таким чином, щоб підтримати рівність заданому поточного відношення ( $\Delta P$ ) до ( $\Delta H$ ). Якщо у процесі експлуатації компресора його межа помпажу зміщується в бік стійких режимів таким чином, що спрацьовує контур захисту, відбувається перекомутація відповідних релейних контактів. При цьому на вході інтегратора "запам'ятовується" значення відношення ( $\Delta P$ ) до ( $\Delta H$ ), котре було в момент спрацьовування захисту, це значення подається на вхід суматора і повторюється інтегратором. Одночасно протипомпажний клапан відкривається повністю подачею напруги до ланцюгу керування приводом клапана. При подальшому деблокуванні контуру захисту відбувається зворотна перекомутація контактів реле, що веде до подачі на перший вхід регулятора поточного значення відношення ( $\Delta P$ ) до ( $\Delta H$ ), а на другий - заданого, який являє собою зафіксоване у момент помпажу відношення ( $\Delta P$ ) до ( $\Delta H$ ), яке подається до входу регулятора з коефіцієнтом  $\alpha$ , що визначає задане значення запасу по помпажу. Одночасно керування приводом клапана переключается на регулятор, який забезпечує таке його відкриття, яке забезпечує заданий запас по помпажу по відношенню до дійсного положення границі помпажу [3].

Даний спосіб захисту турбокомпресора від помпажу, як і спосіб згідно винаходу, що передбачається, містить вимірювання поточних значень параметрів, що характеризують положення робочої точки компресора, уточнення та запам'ятовування положення межі помпажу і відкриття клапана антипомпажного регулятора пропорційно віддаленості робочої точки від межі помпажу. Проте в способі-прототипі уточнення положення межі помпажу відбувається за рахунок "запам'ятовування" положення границі реального помпажу компресора, тобто система все-таки передбачає попадання компресора в аварійну ситуацію і тому не може бути визнана достатньо надійною. Такі "запам'ятовані" значення величин, що визначають положення межі помпажу, фіксовані і відображають поточне положення межі тільки у момент початку помпажу. Протягом подальшої експлуатації, положення границі дрейфує під дією ряду випад-

кових факторів, які важко контролювати в процесі поточної роботи компресора (ерозійне зношення поплаточного апарата компресора, змінення рівню турбулізації потоку на вході у компресор, змінення молекулярного складу та вологості перекачуваного газу). Все це веде до "старіння" даних про межі помпажу, що підвищує імовірність повторного помпажу, а уточнення параметрів межі помпажу можливо тільки в результаті його виникнення. Крім того, з цієї ж причини, при використанні даного способу, наприклад, для антипомпажного регулювання компресора у складі цеха газоперекачувальної станції, можлива надлишкова рециркуляція (перепуск частини газу з виходу компресора на його вхід через антипомпажний клапан), що веде до невикористаної витрати енергії (даремна робота перекачування газу у контурі рециркуляції). З цих причин, спосіб захисту компресора від помпажу, за прототипом, у зв'язку з зазначеними причинами, є недостатньо надійним і недостатньо якісним.

Як відомо ([4], стор. 160-164, стор. 324-325, а також [5], стор. 14-16), для виникнення помпажу в системі компресор-мережа необхідно зміщення робочої точки витратної характеристики компресора в зону нестійкої роботи. Робоча точка визначається пересіченням витратних характеристик компресора і мережі, в якій працює компресор.

У випадку застосування компресора у складі газоперекачувального агрегату компресорної станції компресор працює в мережі магістрального газопроводу, що тримає газ під високим тиском. Мережа такого виду володіє великою акумулюючою здатністю, що дозволяє представити її витратну характеристику у вигляді прямої, паралельної осі витрати, проведену на рівні незмінного вихідного тиску ([4], стор. 161, 163, 331). В цьому випадку зона стійкості роботи компресора, згідно умови статичної стійкості системи компресор-мережа ([5], стор. 15), являє собою усю праву гілку витратної характеристики компресора, яка відповідає зниженню вихідного тиску при збільшенні витрати. Межею стійкої та нестійкої (помпажної) зони є точка максимуму вихідного тиску ([5], стор. 15), а

всій стійкій зоні характеристики відповідає негативний знак похідної

$$\frac{dP_x}{dQ_k}$$

де

$P_k$  - (в одиницях об'єму),

$Q_k$  - вихідна витрата (в одиницях об'єму).

Математичне поняття похідної, в даному випадку, відповідає параметру диференціального опору ( $R$ ) характеристики компресора

$$R = - \frac{\Delta P_{\text{вих}}}{\Delta Q}, \quad (1)$$

де

$\Delta P_{\text{вих}}$  - прирощування вихідного тиску,

$\Delta Q$  - прирощування витрати.

Величину витрати обчислюють, використовуючи результати вимірювання перепаду на конфузори  $\Delta H$ .

Для оцінки ступеню близькості робочої точки компресора до межі помпажу використовують, наприклад, поняття віддаленості

$$L = \frac{Q_{\text{т.пр}} - Q_{\text{п.пр}}}{Q_{\text{т.пр}}} \times 100\%, \quad (2)$$

де

$L$  - віддаленість робочої точки компресора від межі помпажу, %,

$Q_{\text{т.пр}}$  - значення поточної витрати,

$Q_{\text{п.пр}}$  - значення «помпажної» витрати,

приведені до стандартних умов (тиску та температури газу на вході у компресор, частоти обертання його ротора).

Після виконання процедури приведення і з урахуванням залежності витрати  $Q$  від перепаду на конфузори  $\Delta H$  вираження (2) перетворюється у вираження (3), котре використовують для визначення розрахункових значень віддаленості

$$L_{\text{розрах}} \approx 100 - \alpha \cdot n \sqrt{\frac{P_{\text{вх}}}{T_{\text{вх}} \cdot \Delta H}}, \quad (3)$$

де

$\alpha$  - масштабуючий коефіцієнт,

$n$  - частота обертання робочого колеса відцентрового нагнітача,

$P_{\text{вх}}, T_{\text{вх}}$  - тиск та температура газу на вході у відцентровий нагнітач.

Величина  $Q_{\text{т.пр}}$ , яка врахована з використанням паспортних характеристик компресора або за результатами вимірювань, як правило зберігається в пам'яті пристрою, який захищає компресор від помпажу. Через те що поточні координати помпажної межі змінюються в процесі експлуатації компресора на  $\Delta Q_{\text{п.пр}}$  (вплив зношення поточної частини, змінення молекулярного складу газу, змінення рівню турбулізації вхідного потоку компресора і т.ін.), виникає похибка ( $\Delta L$ ) результатів вимірювання віддаленості, що викликана зміщенням межі помпажу

$$\Delta L = - \frac{\Delta Q_{\text{п.пр}}}{Q_{\text{т.пр}}} \times 100\% \quad (4)$$

Відзначимо, що значення диференціального опору  $R$  на межі стійкої зони заздалегідь відомо з теорії (воно дорівнюється нулю). Це дозволяє, визначивши на підставі експериментальних даних залежність диференціального опору  $R$  від результатів вимірювання віддаленості  $L_{\text{розрах}}$  і використовуючи еталонне значення диференціального опору  $R$ , яке дорівнює 0, ввести до уточненого значення віддаленості адитивну поправку  $L'$ , яка компенсує похибку  $\Delta L$ .

В основу винаходу поставлена задача в особі захисту компресора газоперекачувального агрегату від помпажу шляхом уточнення положення межі помпажу з використанням математичного моделювання процесу наближення робочої точки до межі помпажу та шляхом періодичного переведення для цього антипомпажного регулятора у стан "Корекція", визначення поправки по віддаленості, та у подальшому, після переведення антипомпажного регулятора у стан "Робота", формування сигналу керування антипомпажним клапаном з урахуванням уточненого на величину поправки значення віддаленості, забезпечити підвищення надійності та якості захисту.

Задача, котра поставлена, вирішується за рахунок того, що у відомому способі захисту турбо-

компресора від помпажу, який включає вимірювання поточних значень параметрів, що характеризують положення робочої точки компресора, уточнення та запам'ятовування положення межі помпажу і формування вихідного сигналу антипомпажного регулятора пропорційно віддаленості робочої точки компресора від межі помпажу згідно винаходу уточнення положення межі помпажу проводять, використовуючи математичне моделювання процесу наближення робочої точки до межі помпажу, для чого антипомпажний регулятор періодично переводять у стан "Корекція", створюють декілька режимів компресора, які встановилися і відповідають різним значенням віддаленості, у кожному з зазначених режимів знаходять і запам'ятовують значення диференціального опору витратної характеристики компресора та розрахункове значення віддаленості, за цими зареєстрованими значеннями підбирають функцію, що апроксимує і описує залежність диференціального опору від розрахункового значення віддаленості, шляхом екстраполяції цієї функції знаходять значення віддаленості, яке відповідає нульовій величині диференціального опору, знайдене значення віддаленості запам'ятовують як поправку, антипомпажний регулятор переводять у стан "Робота" і далі сигнал керування антипомпажним клапаном формують з урахуванням уточненого значення віддаленості, котре визначають за формулою

$$L_{\text{ут}} = L_{\text{розра}} - L'$$

де

$L_{\text{розра}}$  - розрахункове значення віддаленості,

$L'$  - поправка по віддаленості

Технічний результат, котре можна досягнути при використанні винаходу, який передбачається, виявляється у тому, що забезпечується підвищення надійності та якості захисту компресора від помпажу

Причинно-наслідковий зв'язок між сукупністю ознак винаходу, який передбачається і технічним результатом простежується в тому, що нові ознаки - уточнення положення межі помпажу за допомогою математичного моделювання процесу наближення робочої точки до межі помпажу, для чого антипомпажний регулятор періодично переводять у стан "Корекція", створюють декілька режимів компресора, які встановилися, і відповідають різним значенням віддаленості, в кожному з зазначених режимів знаходять і запам'ятовують значення диференціального опору витратної характеристики компресора та розрахункове значення віддаленості, за цими зареєстрованими значеннями підбирають функцію, що апроксимує і описує залежність диференціального опору від розрахункового значення віддаленості, шляхом екстраполяції цієї функції знаходять значення віддаленості, яке відповідає нульовій величині диференціального опору, знайдене значення віддаленості запам'ятовують як поправку, антипомпажний регулятор переводять у стан "Робота" і далі сигнал керування антипомпажним клапаном формують з урахуванням уточненого значення віддаленості,

котре визначають за формулою

$$L_{\text{ут}} = L_{\text{розра}} - L'$$

де

$L_{\text{розра}}$  - розрахункове значення віддаленості,

$L'$  - поправка по віддаленості,

введені у спосіб захисту компресора газоперекачувального агрегату від помпажу, при взаємодії з відомими ознаками, а саме, вимірюванням поточних значень параметрів, що характеризують положення робочої точки компресора, уточненням та запам'ятовуванням положення межі помпажу і формуванням вихідного сигналу антипомпажного регулятора пропорційно віддаленості робочої точки компресора від межі помпажу, забезпечують проявлення нових технічних характеристик, таких як

підвищення надійності захисту внаслідок того, що уточнення положення межі помпажу проводять періодично, а не тільки у моменти коли компресор потрапляє у помпаж, як у прототипі, це значить, що змінення положення границі помпажу під час роботи компресора при такому способі буде простежуватися точніше, і, отже, з більшою надійністю буде сприяти захисту компресора від потрапляння у помпаж,

підвищення якості захисту внаслідок того, що уточнення положень межі помпажу проводять шляхом моделювання аварійного граничного положення, не доходячи до реального помпажу як у прототипі. Крім того, якість захисту підвищується за рахунок того, що при більш точному простежуванні положення межі помпажу знижується імовірність виникнення надлишкової рециркуляції, що дуже важливо при використанні компресора у складі цеха газоперекачувальної станції

На кресленнях наведені

Фіг 1 - структурна схема системи, котре реалізує спосіб захисту компресора газоперекачувального агрегату від помпажу (приклад),

Фіг 2, 2а - алгоритм роботи способу, що пропонується,

Фіг 3 - витратні характеристики компресора та еквівалентної мережі

Система, що реалізує спосіб, котрий пропонується, у варіанті конкретного прикладу містить давачі 1, 2, групу давачів 3, антипомпажний клапан з виконавчим механізмом та власне антипомпажний регулятор (АПР), до складу якого входять блок аналого-цифрових перетворювачів (АЦП) 4, системна шина 5, блок формувачів 6 вхідних дискретних сигналів, процесор 7, цифро-аналоговий перетворювач (ЦАП) 8 (Фіг 1)

В структурній схемі системи, що реалізує пропонуваній спосіб захисту компресора газоперекачувального агрегату від помпажу, встановлені наступні зв'язки між елементами системи. Виходи давачів 1, 2 і групи давачів 3 з'єднані з відповідними входами АЦП у складі блока 4, виходи котре підключені до системної шини 5, до котре також підключені виходи блоку формувачів 6, вхід і вихід процесора та вхід аналого-цифрового перетворювача 8, вихід котре з'єднаний з виконавчим механізмом антипомпажного клапана (АПК)

Давачі 1 і 2 здійснюють відповідно вимірювання вихідного тиску Рвих компресора і витрати газу через компресор шляхом вимірювання перепаду тиску на місцевому опорі в лінії всмоктування (витратомірна шайба, конфузори). Група датчиків 3 забезпечує вимірювання параметрів режиму комп-

ресора (частота обертання ротора) і параметрів газу на вході (температура, тиск) для приведення (перерахунку) режиму до стандартних умов (перерахунок виконується за відомою методикою ([4], стор 306-320)

АЦП у складі блока перетворює вихідні сигнали датчиків 1, 2 і групи датчиків 3 у цифрову форму. Системна шина 5 забезпечує зв'язок між блоками 4, 6, 7 і 8 системи. Формувач 6 здійснює перетворення керуючих дискретних сигналів "Робота" - "Корекція" і "Реєстрація" у цифрову форму, процесор 7 реалізує алгоритм роботи системи, а перетворювач 8 формує аналоговий сигнал, що керує рівнем відкриття антипомпажного клапана, який захищає компресор від помпажу.

Давачі 1, 2 і група давачів 3 можуть бути виконані, наприклад, з використанням вимірників тиску (та перепаду тиску) типу "Сапфір", термометрів опору типу TCM або ТСР та вимірників частоти обертання IFMA003(RCL) фірми "Red Lion Controls" (США), а блоки 4, 5, 6, 7, 8 системи - з застосуванням, наприклад, програмованого логічного контролера GE Fanuc "General Electric" (США).

Пропонований спосіб захисту компресора газоперекачувального агрегату від помпажу працює таким чином (Фіг 2).

Попередньо виконують початкову установку системи, для чого в пам'яті процесора реєструють приведені значення витрати при помпажі  $Q_{n,пр}$ , одержане, наприклад, з використанням паспортних параметрів витратної характеристики компресора,

вихідне значення поправки ( $L'$ ), рівне нулю, мінімально допустимий рівень віддаленості ( $L_{зад}$ ) - завдання,

задане число режимів ( $m$ ) компресора, котре необхідно реалізовувати для виконання коригування а також попередньо встановлюють лічильник числа режимів  $k$  в нуль.

АПР функціонує в двох основних станах "Робота" і "Корекція", у котрих, відповідно, виконується захист компресора від помпажу або визначення і реєстрація поправки  $L'$ .

Вибір стану здійснюється в залежності від значення дискретного сигналу на вході формувача 6 (наприклад, 1 відповідає стану "Робота", а 0 - стану "Корекція").

При наявності сигналу "Робота" процесор 7 забезпечує виконання наступного алгоритму.

АПР переводять у стан "Робота",

блок 4 здійснює перетворення вихідних сигналів датчиків 1, 2 і групи датчиків 3 у цифрові коди, використовуючи формулу (3), обчислюють поточне значення розрахункової віддаленості  $L_{розр}$ , обчислюють уточнене значення віддаленості  $L_{ут}$  за формулою

$$L_{ут} = L_{розр} - L'$$

де

$L_{ут}$  - уточнене значення віддаленості,

$L_{розр}$  - розраховане значення віддаленості,

$L'$  - поправка по віддаленості,

при зниженні  $L_{ут}$  нижче значення  $L_{зад}$  збільшують вхідний код перетворювача 8, вихідний аналоговий сигнал котрого змінює ступінь відкриття ан-

типомпажного клапана, захищаючи компресор від помпажу.

При зміні сигналу на вході формувача 6, що відповідає режиму "Корекція", процесор 7 реалізує наступний алгоритм.

АПР переводять у стан "Корекція",

контролюють наявність сигналу "Реєстрація", який подається оперативним персоналом, що керує роботою компресора.

Для виконання корекції послідовно забезпечують задане число режимів, які встановилися, компресора, котрі почергово наближають поточне значення витрати  $Q$ , у точці режиму (точка А на Фіг 3) до помпажного рівню  $Q_n$  (точка Б на Фіг 3), але без потрапляння компресора у помпаж. Перехід до чергового режиму реалізується одним з наступних способів:

зміненням числа обертів компресора,

зміненням опору у лінії всмоктування або нагнітання компресора (дросель, заслінка),

зміненням числа обертів паралельно працюючих компресорів (при використанні компресора, який розглядається у складі компресорного цеху) котре веде до змінення вихідного тиску цеху, тобто паралельному зміщенню характеристики мережі на Фіг 3.

Сигнал "Реєстрація" подають після закінчення переходу компресора на черговий режим і після досягнення параметрами компресора (витрата, вихідний тиск, частота обертання) нових значень, що встановилися.

У кожному з режимів послідовно виконують такі дії:

код номера режиму  $k$  збільшують на одиницю, вхідний код перетворювача 8 змінюють так, щоб забезпечити модуляцію ступеню відкриття антипомпажного клапана, тобто протягом інтервалу часу  $t$  клапан трохи відкривають на 3 - 5% (від повного діапазону), а протягом наступного інтервалу  $t$  повністю закривають,

тривалість  $t$  обирають у межах (1 - 5) с (в результаті модуляції витрата та вихідний тиск компресора незначно змінюються з періодом  $2t$ ),

використовуючи вихідні коди відповідних перетворювачів блоку 4, обчислюють за формулою (3) віддаленість  $L_{розр,k}$  (де  $k$  - номер режиму), а за формулою (1) диференціальний опір  $R_k$  витратної характеристики компресора. Прирощування  $\Delta Q_k$  і  $\Delta P_{вих,k}$  являють собою амплітудні значення перших гармонік (з періодом  $2t$ ) прирощувань сигналів  $Q_k$  і  $P_{вих,k}$ , викликані модуляцією ступеню відкриття антипомпажного клапана. Значення  $Q_k$  і  $P_{вих,k}$  визначають в результаті цифрової фільтрації прирощувань сигналів  $Q_k$  і  $P_{вих,k}$ , що виконана процесором 7,

якщо порядковий номер  $k$  менше уставки  $m + 1$ , то оперативний персонал змінює значення сигналу "Реєстрація" і переводить компресор у черговий режим. В зворотньому випадку (при  $k = m + 1$ ) для одержаних наборів значень

$$R_1, R_2, R_m$$

$$L_{розр,1}, L_{розр,2}, L_{розр,m}$$

обирають коефіцієнти функції, що апроксимує і описує залежність  $R$  від  $L_{розр}$ , тобто  $R = F(L_{розр})$ .

Коефіцієнти функції, що апроксимує,  $F$  обчислюють процесором 7 автоматично, за здалегідь

введеною стандартною підпрограмою, яка використовує відомі математичні методи (наприклад, наближення за методом найменших квадратів),

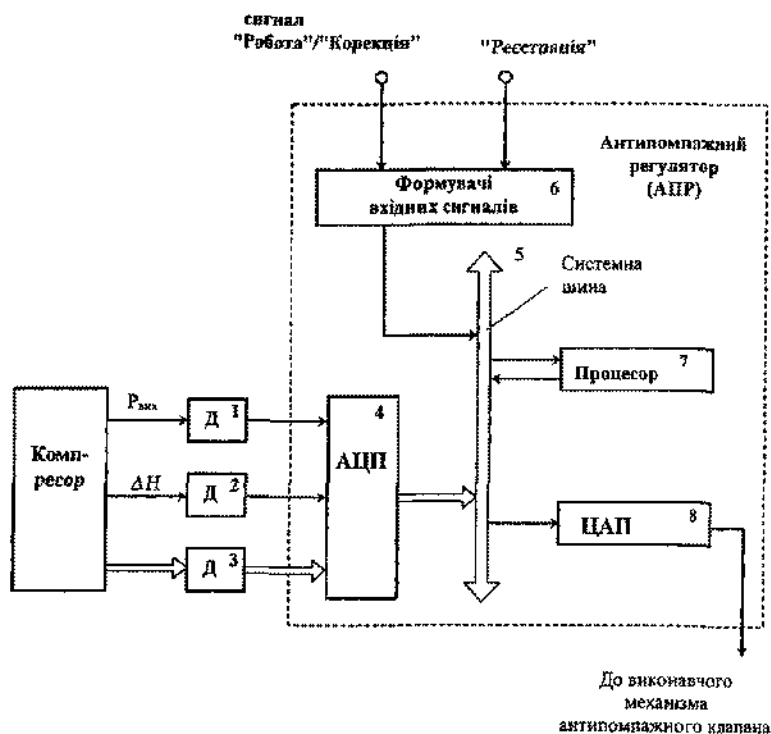
процесор 7 за здалегідь введеною стандартною програмою обчислює корінь функції  $F$ , тобто значення віддаленості  $L'$ , що відповідає нульовій величині диференціального опору витратної характеристики компресора в точці помпажу,

Обчислене значення  $L'$  реєструють в пам'яті процесора 7,

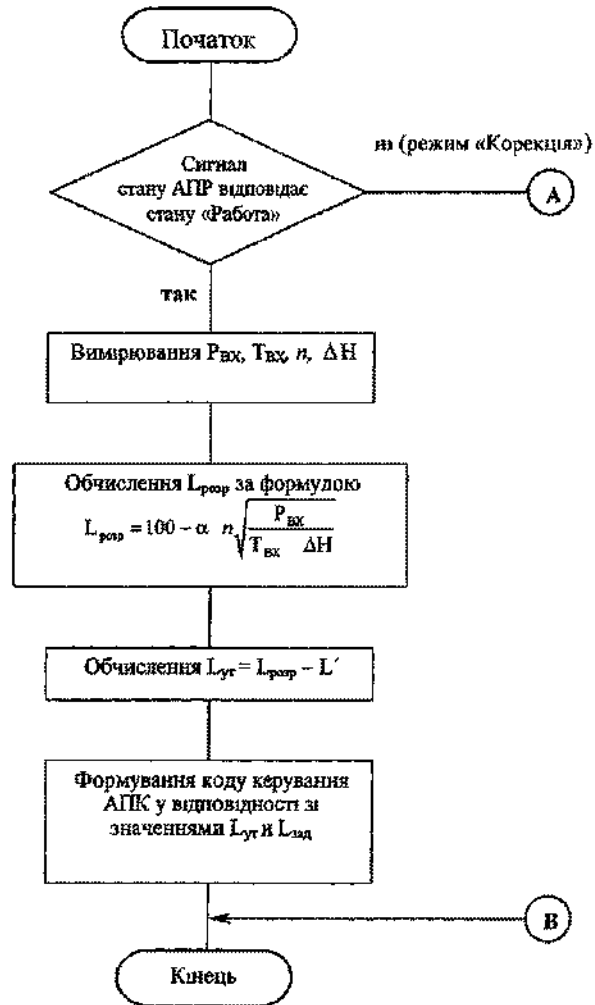
антипомпажний регулятор переводять у стан "Робота", після чого лічильник числа режимів  $k$  встановлюють в нуль

#### Література

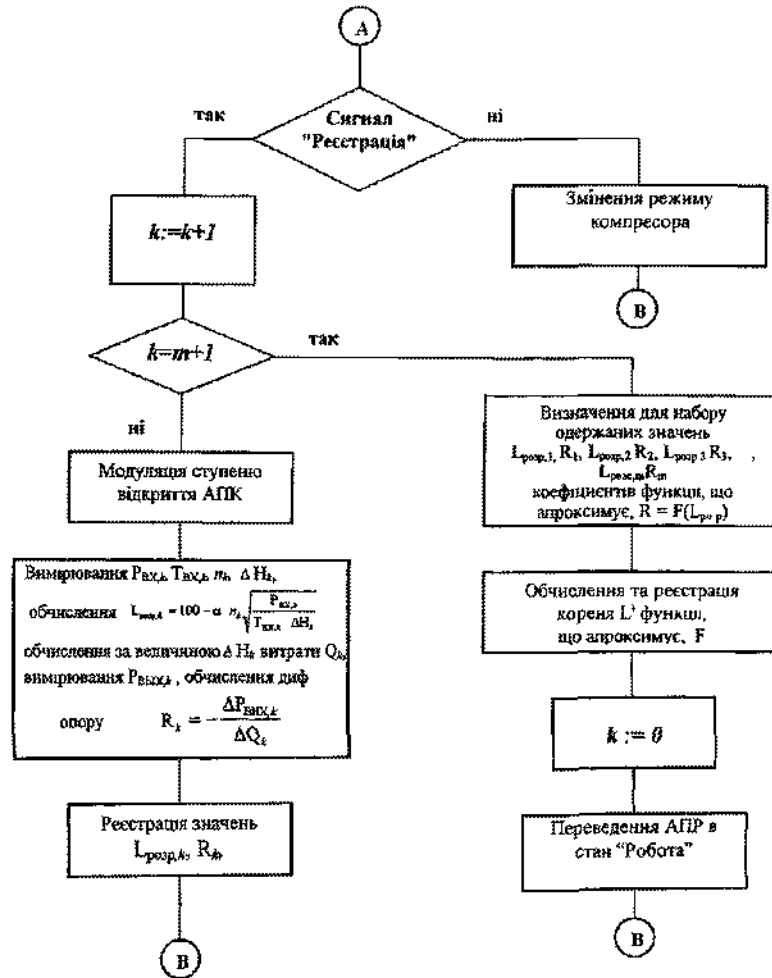
- 1 Авторське свідоцтво №623995, СРСР, 15 09 78 Бюл №34, F04D27/02
- 2 Авторське свідоцтво №1802855, СРСР, 15 03 93 Бюл №10, F04D27/02
- 3 Авторське свідоцтво №1201555, СРСР, 30 12 85 Бюл №48, F04D27/02 (прототип)
- 4 А.Н. Шерстюк Насоси, вентилятори, компресори, М Вища школа, 1972
- 5 И.Л. Письменный Багаточастотні нелінійні нагнітання в газотурбінному двигуні, М Машинобудівництво, 1987



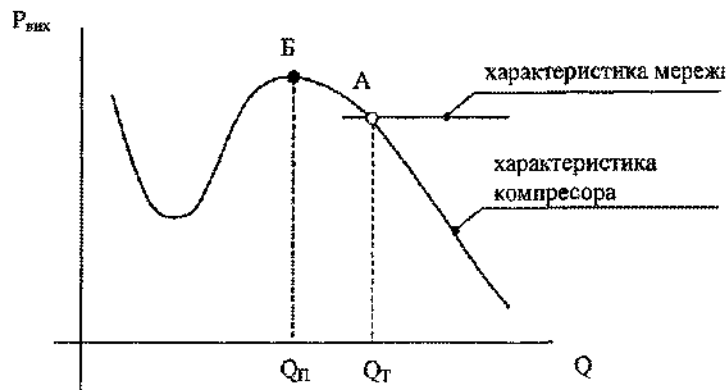
Фіг. 1



Фіг. 2



Фіг. 2а



Фіг. 3

ДП «Український інститут промислової власності» (Укрпатент)

вул. Сим'ї Хохлових, 15, м. Київ, 04119, Україна

(044) 456 – 20 – 90

ТОВ «Міжнародний науковий комітет»

вул. Артема, 77, м. Київ, 04050, Україна

(044) 216 – 32 – 71



