



УКРАЇНА

(19) UA (11) 19308 (13) U  
(51) МПК (2006)  
G01F 1/34МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ  
І НАУКИ УКРАЇНИДЕРЖАВНИЙ ДЕПАРТАМЕНТ  
ІНТЕЛЕКТУАЛЬНОЇ  
ВЛАСНОСТІОПИС  
ДО ПАТЕНТУ  
НА КОРИСНУ МОДЕЛЬвидається під  
відповідальність  
власника  
патенту

(54) СПОСІБ ВИЗНАЧЕННЯ ФАКТИЧНИХ ХАРАКТЕРИСТИК ПАРКУ ВІДЦЕНТРОВИХ НАГНІТАЧІВ ГАЗОТРАНСПОРТНОЇ СИСТЕМИ

1

2

(21) u200606131

(22) 02.06.2006

(24) 15.12.2006

(46) 15.12.2006, Бюл. № 12, 2006 р.

(72) Химко Мирослав Петрович, Прищепо Олександр Олексійович, Педько Борис Іванович, Ізмалков Борис Іванович, Ільченко Борис Самуїлович, Колодяжний Валерій Васильович, Кучерук Микола Васильович, Налісний Микола Борисович, Шурунова Наталія Шиоївна

(73) ДОЧІРНЯ КОМПАНІЯ "УКРТРАНСГАЗ"

(57) Спосіб визначення фактичних характеристик парку відцентрових нагнітачів (ВЦН) газотранспортної системи, що включає вимірювання тиску і температури газу на вході і виході за кожним нагнітачем, а також вимірювання числа обертів вала кожного нагнітача та густини компримованого газу, який відрізняється тим, що одночасно за кожним k-им нагнітачем експлуатованого парку з NK газоперекачувальних агрегатів роблять NL серій з NI періодичних вимірювань зазначених параметрів агрегатних автоматик, формують для кожного i-го вимірювання l-ої серії вектор вимірювань  $X_{k,i,l}$ , що включає значення температури на вході і виході нагнітача  $T_{вх\,k,i,l}$ ,  $T_{вих\,k,i,l}$ , тиску газу на вході і виході нагнітача  $P_{вх\,k,i,l}$ ,  $P_{вих\,k,i,l}$ , частоти обертання вала нагнітача  $n_{k,i,l}$  та густини газу  $\rho_{k,i,l}$ :

$$X_{k,i,l} = \{T_{вх\,k,i,l}, T_{вих\,k,i,l}, P_{вх\,k,i,l}, P_{вих\,k,i,l}, n_{k,i,l}, \rho_{k,i,l}\},$$

розраховують коефіцієнти стискальності, коефіцієнти ізобаричної стискальності, поправки до теплоємності на основі модифікованого рівняння стану Бенедикта-Вебба-Рабіна, далі з урахуванням розрахованих значень коефіцієнтів стискальності і поправок до теплоємності обчислюють значення зведеного ступеня стиску  $\varepsilon_{пр}(X_{k,i,l})$  і політропногокоефіцієнта корисної дії  $\eta_{пол}(X_{k,i,l})$  відповідно до політропного методу Шульца, для кожного k-го нагнітача, i-го вимірювання l-ої серії, і потім на основі розрахункових характеристик політропного коефіцієнта корисної дії  $\eta_{пол,k,j}^p(Q_{пр}, D_{k,j})$  та зведе-ного ступеня стиску  $\varepsilon_{пр,k,j}^p(Q_{пр}, D_{k,j})$ ,  $j = \overline{1, ND}$ , деND - кількість видів узагальненого нормованого дефекту, які задаються в функції від величини і виду узагальненого нормованого дефекту  $D_{k,j}$ , за який приймають зважену суму конкретних видів дефектів проточної частини відцентрового нагнітача та який однозначно визначає відхилення розрахункових характеристик від відповідних паспортних для різних видів і величин дефектів проточної частини нагнітача, складають систему з двох рівнянь

$$\begin{cases} \varepsilon_{пр,k}(X_{k,i,l}) = \varepsilon_{пр,k,j}^p(D_{k,i,l,j}, Q_{пр,k,i,l,j}) \\ \eta_{пол,k}(X_{k,i,l}) = \eta_{пол,k,j}^p(D_{k,i,l,j}, Q_{пр,k,i,l,j}) \end{cases},$$

з якої за всією множиною векторів вимірювань  $X_{k,i,l}$  визначають множину значень узагальненихнормованих дефектів  $D_{k,i,l,j}$ , де  $k = \overline{1, NK}$ ,  $i = \overline{1, NI}$ , $l = \overline{1, NL}$ ,  $j = \overline{1, ND}$ , та величини їхніх прогнозованихзначень  $D_{k,i,l,j}^f$ , які розраховують, виходячи з пропорційного збільшення значення узагальненого нормованого дефекту у функції від часу його наробітку, вимірюваного від початку серії, за допомогою виразу

$$D_{k,i,l,j}^f = D_{k,0,l,j} + t_{нар} \cdot VD_{k,i,l,j}^f,$$

де  $D_{k,0,l,j}$  - розрахункове значення величини j-го узагальненого дефекту на момент початку l-ої серії вимірювань k-го нагнітача,  $VD_{k,i,l,j}^f$  - фільтроване значення швидкості збільшення величини j-го узагальненого дефекту на l-ій серії вимірювань  $VD_{k,i,l,j}$  k-го нагнітача за час його наробітку між i-м і i-1 вимірюваннями,  $t_{нар}$  - час наробітку ВЦН, що вимірюють від початку серії, при цьому значення  $D_{k,0,l,j}$  і  $VD_{k,i,l,j}$  визначають після закінчення кожної серії вимірювання  $i=NI$ , розв'язуючи наступну систему рівнянь(13) U  
(11) 19308  
(19) UA

$$\begin{cases} \frac{\partial F_{k,l-1,j}}{\partial D_{k,0,l,j}} = 0 \\ \frac{\partial F_{k,l-1,j}}{\partial VD_{k,l-1,j}} = 0 \end{cases},$$

де величина  $F_{k,l-1,j}$  дорівнює

$$F_{k,l-1,j} = \sum_{i=1}^{NI} (D_{k,i,l-1,j} - D_{k,i,l-1,j}^r)^2, \text{ а } VD_{k,l,j}^{\Phi} \text{ визначають}$$

зі співвідношення  $VD_{k,l,j} = b_1 \cdot VD_{k,l,j}^{\Phi} + b_0 \cdot VD_{k,l-1,j}^{\Phi}$ ,

де  $b_1, b_0$  - коефіцієнти фільтра, потім, після закінчення  $NL$  серій періодичних вимірювань для кожного  $k$ -го нагнітача, вибирають вид найбільш ймовірного узагальненого нормованого дефекту  $s$  на основі критерію мінімуму середньоквадратичного відхилення узагальненого нормованого дефекту від його прогнозованого значення  $D_{k,i,l,j}^r$ , який задовольняє наступну умову

$$\sum_{l=1}^{NL} \sum_{i=1}^{NI} (D_{k,i,l,c}(X_{k,i,l}) - D_{k,i,l,c}^r)^2 < \sum_{l=1}^{NL} \sum_{i=1}^{NI} (D_{k,i,l,j}(X_{k,i,l}) - D_{k,i,l,j}^r)^2$$

для  $j=1, \dots, c-1, c+1, \dots, ND$ , далі шляхом лінійної інтерполяції розрахункових характеристик вибраного виду узагальненого нормованого дефекту політропного коефіцієнта корисної дії  $\eta_{полк,c}^p(Q_{пр}, D_{k,c})$  та

зведеного ступеня стиску  $\varepsilon_{прк,c}^p(Q_{пр}, D_{k,c})$  для обчисленого значення  $D_{k,c}$ , яке дорівнює  $D_{k,0,NL,c}$ , та масиву значень зведеної об'ємної продуктивності  $G_{пр,t}$ , де  $t=1, NT$  і  $NT$  - кількість елементів масиву, визначають відповідні масиви значень  $\varepsilon_{пр,k,t}$  та  $\eta_{пол,k,t}$ , на основі яких розраховують апроксимуючі поліноми фактичних зведених характеристик парку ВЦН газотранспортної системи  $\eta_{полк}(Q_{пр}), \varepsilon_{прк}(Q_{пр}), k=1, NK$ .

Корисна модель відноситься до вимірювань у газотранспортній області, а саме до знаходження необхідних даних для ефективного управління газотранспортною системою і призначена для визначення фактичних зведених характеристик відцентрових нагнітачів (ВЦН) газоперекачувальних агрегатів (ГПА) на компресорних станціях (КС) магістральних газопроводів.

Ефективне керування газотранспортною системою можливо тільки на основі оперативної інформації про фактичні характеристики експлуатованого енергоустановки, що включає в першу чергу фактичні характеристики ВЦН. В даний час фактичні характеристики визначаються спеціалізованими організаціями при проведенні теплотехнічних іспитів ГПА. Проведення цих іспитів регламентується ГОСТ 20440-75 "Установки газотурбинные. Методы испытаний" та відповідними інструкціями з визначення технічного стану ГПА. Більшість інструкцій, також як і ГОСТ 20440-75, випущені більше 25 років тому і не забезпечують необхідні для ефективного керування значення точності та вірогідності зумовлених показників та характеристик. До того ж проведення теплотехнічних іспитів є дорогою процедурою. Їх проведення прив'язують до виконання окремих видів ремонтів. Тому необхідна оперативна інформація про фактичні характеристики на поточний або заданий момент часу всіх експлуатованих відцентрових нагнітачів відсутня.

Відомі методи визначення фактичних характеристик відцентрових нагнітачів, які ґрунтуються на ряді припущень про незмінність їхніх окремих характеристик або визначеному характері зсуву фактичних характеристик відносно паспортних, також як і методи, що ґрунтуються на експериментальне виявлених взаємозв'язках зміни окремих показників процесу політропного стиску газу в нагнітачі зі

зміною його газодинамічних характеристик, не забезпечують необхідну точність.

Відомий метод ідентифікації фактичних (реальних) характеристик ВЦН в умовах КС на основі використання співвідношень, які поєднують коефіцієнт напору  $\psi$ , коефіцієнт витрати  $\varphi$  та політропний коефіцієнт корисної дії (ККД)  $\eta_{пол}$  ВЦН у будь-якій точці газодинамічних характеристик

$$k_1 = \frac{\psi}{\eta_{пол}} - q \frac{\psi^*}{\eta_{пол}^*} = f_1(q),$$

$k_2 = \psi - q \cdot \psi^* = f_2(q)$ ,  $q = \varphi / \varphi^*$ , де  $k_1, k_2$  - комплекси, що є функціями відносного зсуву режимів за витратою  $q$  для різних типів ВЦН. Ці комплекси визначають по всій сукупності газодинамічних характеристик всіх експлуатованих типів ВЦН.

Індекс "\*" відноситься до параметрів, що відповідають фіксованій точці максимального політропного ККД на газодинамічних характеристиках. Метод припускає, що об'ємна продуктивність  $Q_{vn}^*$  та коефіцієнт витрати  $\varphi$  в точці характеристики, що відповідає максимальному політропному ККД ВЦН відомі. Значення об'ємної продуктивності  $Q_v$  визначають виходячи з припущення відносної стабільності характеристики ВЦН у координатах

"зведена відносна внутрішня потужність  $\left[ \frac{N_i}{\rho_n} \right]_{пр}$ "

зведена об'ємна продуктивність  $Q_{vnn}$ "

$$\left[ \frac{N_i}{\rho_n} \right]_{пр} = \varphi_1(Q_{vnn}).$$

Вимірюючи тиск і температуру газу на вході і виході нагнітача  $P_n, T_n, P_k, T_k$ , частоту обертання його вала  $n$  та знаючи газову постійну компримованого газу  $R$ , коефіцієнт стискальності газу на вході ВЦН  $Z_n$  та номінальну частоту обертання  $n_0$  обчислюють коефіцієнт  $A$

$$A = 10^{-3} \left( \frac{n}{n_0} \right)^2 \frac{k}{k-1} z_n R (T_k - T_n),$$

$$\text{де } \frac{k}{k-1} = \frac{1}{\eta_{\text{пол}}} \cdot \frac{1}{m_T},$$

$$m_T = \lg \left( \frac{T_k}{T_n} \right) \cdot \left( \lg \left( \frac{P_k}{P_n} \right) \right)^{-1}, \quad \frac{k}{k-1} - \text{показник псевдоізоентропи,}$$

де  $m_T$  - температурний показник політропи.

Потім розв'язують систему двох рівнянь

$$\begin{cases} \left[ \frac{N_i}{\rho_n} \right]_{\text{пр}} = A \cdot Q_{\text{внп}} \\ \left[ \frac{N_i}{\rho_n} \right]_{\text{пр}} = \varphi_1(Q_{\text{внп}}) \end{cases}, \quad \text{з якої визначають значення } Q_{\text{пр}}.$$

Значення об'ємної продуктивності нагнітача розраховують як  $Q_v = Q_{\text{внп}} \frac{n}{n_0}$ . Далі, викорис-

товуючи співвідношення, що зв'язують  $\varphi$  і  $Q_v$ , а також  $\psi$  і ступінь стиску  $\varepsilon$  визначають  $\varphi^*$ ,  $\psi^*$ ,  $\eta^*_{\text{пол}}$ . Задаючи ряд значень  $q_j$ , за допомогою виразів, що визначають значення комплексів  $k_1, k_2$ , обчислюють відповідні значення коефіцієнтів витрати  $\varphi_j$ , коефіцієнтів напору  $\psi_j$  і політропного ККД  $\eta_{\text{пол}j}$ . Потім, використовуючи вирази, що пов'язують безвимірні та звичайні координати газодинамічних характеристик, розраховують характеристики ВЦН у координатах  $\varepsilon - Q_v, \eta_{\text{пол}} - Q_v$  та  $\frac{N_i}{\rho} - Q_v$  [1].

Даний метод визначення фактичних характеристик ВЦН в умовах КС, так само як і спосіб, що заявляється, включає вимірювання тиску і температури газу на вході і виході за кожним нагнітачем, а також вимірювання числа обертів валу кожного нагнітача та густини компримованого газу. Однак цей метод недостатньо точний через використання цілого ряду припущень: про незмінність значень комплексів, що пов'язують коефіцієнти напору, витрати і політропного ККД при наявності різних видів проточної частини ВЦН; про відносну стабільність характеристики ВЦН у координатах "зведена відносна внутрішня потужність - зведена об'ємна продуктивність" та ряду інших. Наведені значення оцінок розбіжності розрахункової витратно-напірної характеристики відносно експериментальної в 4% є неприпустимими.

Відомий також метод визначення газодинамічних характеристик нагнітачів на КС на основі розрахунку безвимірних характеристик нагнітача, політропного ККД  $\eta_{\text{пол}}$  та політропного коефіцієнта напору  $\psi_{\text{пол}}$  від коефіцієнта витрати  $\phi$ . Безвимірні характеристики розраховуються при іспитах нагнітачів на повітрі на декількох режимах за витратою при різних еквівалентних частотах обертання. Вхідною інформацією для розрахунку є дані вимірювань наступних параметрів: температура зовні-

шнього повітря, перепад тиску повітря на витратомірній шайбі, розрідження повітря перед нагнітачем та його тиск за нагнітачем, температура повітря перед і за нагнітачем, барометричний тиск, частота обертання ротора і перепад тиску на конфузори, встановленому у всмоктувальній камері нагнітача.

Для обчислення газодинамічних характеристик нагнітача за безвимірними характеристиками виконують наступну послідовність дій.

Діапазон значень коефіцієнта витрати від мінімального значення (помпажу) до максимального (режим максимальної продуктивності) розбивають на 12 точок. Для кожного значення коефіцієнта витрати  $\Phi_j$ ,  $j = 1, 12$ , визначають за безвимірними характеристиками нагнітача відповідні значення  $\eta_{\text{пол}}(\Phi_j)$  і  $\psi_{\text{пол}}(\Phi_j)$ . Потім обчислюють витрату

газу на вході в нагнітач  $Q_j = \pi u_2 D_2^2 \Phi_j / 4$ , де  $u_2$  - кругова швидкість на периферії робочого колеса,  $D_2$  - діаметр робочого колеса та визначають різницю ентальпій газу на вході  $i_{nj}$  і виході  $i_{kj}$  як  $\Delta i_j - i_{kj} - i_{nj} = \psi_{\text{пол}j} \cdot \frac{u_2^2}{\eta_{\text{пол}j}}$ . Далі, за допомогою

ітераційної процедури за значеннями тиску на виході нагнітача  $P_k$ , температурі газу на вході в нагнітач  $T_n$  і політропного ККД  $\eta_{\text{пол}j}$  із використанням рівнянь політропного процесу стиску в нагнітачі підбирають значення тиску на вході в нагнітач  $P_{nj}$  таким чином, щоб значення ентальпії  $i_{kj}$  у відповідній точці  $(P_k, T_k)$  забезпечувало знайдене значення  $\Delta i_j = i_{kj} - i_{nj}$ . Кінцевою операцією обчислення газодинамічних характеристик є розрахунок зведеного ступеня стиску та політропного ККД у функції від зведеної об'ємної продуктивності за результатами зазначених обчислень для всіх 12 точок коефіцієнта витрати  $\Phi_j$  [2].

Даний метод визначення газодинамічних характеристик нагнітачів на КС за допомогою безвимірних характеристик нагнітача також як і спосіб визначення фактичних характеристик парку відцентрових нагнітачів газотранспортної системи, що заявляється, включає вимірювання тиску і температури газу на вході і виході за кожним нагнітачем, а також вимірювання числа обертів вала кожного нагнітача і густини компримованого газу. Однак цей метод має низьку точність і низьку вірогідність визначення фактичних характеристик через те, що безвимірні характеристики нагнітача визначаються одноразово та у процесі експлуатації їхня стабільність у часі, незалежність їх від розвитку дефектів проточної частини не підтверджені.

Найближчим за технічною суттю аналогом, який обрано у якості прототипу, є метод визначення газодинамічних характеристик відцентрового нагнітача відповідно з яким знаходять два незалежних коефіцієнта, що враховують зсув фактичних характеристик відносно паспортних при постійному значенні однієї з термогазодинамічних величин відповідно до використовуваної однопараметричної термогазодинамічної моделі процесу стиснен-

ня газу. У якості незалежної змінної вибирають зведену об'ємну продуктивність ВЦН  $Q_{np}$  та за умови  $Q_{np}=idem$  визначають наступні коефіцієнти:

- коефіцієнт, що враховує "зсув" характеристики зведеної внутрішньої відносної потужності

$$\left(\frac{N_i}{P_i}\right)_{np} K_H^{Ni} = \frac{\left(\frac{N_i}{P_i}\right)_{np}}{\left(\frac{N_i}{P_i}\right)_{пол}};$$

- коефіцієнт, що враховує "зсув" характеристики політропного ККД  $\eta_{пол}$   $\eta_{пол} = \frac{\eta_{пол}}{\eta_{пол}^p}$ , де символ

"п" означає визначення параметра за відповідною паспортною характеристикою ВЦН при значенні  $Q_{np}=idem$ . Коефіцієнти зсуву за іншими характеристиками ВЦН знаходять на підставі цих двох коефіцієнтів. Значення параметрів  $\left(\frac{N_i}{P_i}\right)_{np}$  та  $\eta_{пол}$

визначають на основі термогазодинамічної моделі процесу стиснення газу, що використовує наступні

вхідні параметри: значення температури газу на вході і виході ВЦН  $t_1, t_2$ , тисків газу на вході і виході ВЦН  $P_1, P_2$ , частоти обертань його ротора  $n$ , компонентну сполуку газу та об'ємну продуктивність ВЦН.

Термогазодинамічну модель процесу стиснення газу описують наступною системою співвідношень:

- різниця знтальпій газу на виході і вході ВЦН (повний напір)

$$\Delta h = f_1(P_1, P_2, t_1, t_2);$$

- потенційна робота стиску газу (політропний напір)

$$w_{1,2} = f_2(P_1, P_2, t_1, t_2);$$

- політропний ККД  $\eta_{пол} = \frac{w_{1,2}}{\Delta h}$ ;

- масова продуктивність  $Q = f_3(Q, P_1, t_1)$ ,

- потужність ВЦН  $N_i = Q \cdot \Delta h$ ;

- зведена внутрішня відносна потужність

$$\left[\frac{N_i}{P_i}\right]_{np} = f_4(N_i, P_1, f_1, \eta_{пол});$$

- паспортний політропний ККД  $\eta_{пол}^p = f_5(Q, \eta_{пол})$ ;

- паспортне значення зведеної внутрішньої відносної потужності ВЦН  $\left(\frac{N_i}{P_i}\right)_{пол} = f_6(Q_3, \eta_{пол})$ .

Фактичні характеристики політропного ККД та зведеної внутрішньої відносної потужності визначають як добуток відповідних коефіцієнтів "зсуву" на значення паспортних характеристик [3].

Даний метод визначення газодинамічних характеристик відцентрового нагнітача також як і спосіб визначення фактичних характеристик парку відцентрових нагнітачів газотранспортної системи, що заявляється, включає вимірювання тиску і температури газу на вході і виході за кожним нагнітачем, а також вимірювання числа обертів вала кожного нагнітача і густини компримованого газу. Однак цей метод має низьку точність і низьку віро-

гідність визначення фактичних характеристик за наступними причинами: передбачається використання у якості вхідного параметра інформацію про об'ємну продуктивність ВЦН, яка в умовах компресорної станції відсутня, в той же час обчислення об'ємної продуктивності за допомогою звужуючого пристрою на вході ВЦН пов'язано з нерегламентованою похибкою, що може досягати до 20% від змінюваної величини; фактичні характеристики визначають за разовими вимірюваннями його параметрів та при фіксованому значенні зведеної об'ємної продуктивності, що не дозволяє зменшити вплив випадкових складових похибок каналів вимірювання параметрів ВЦН на результати обчислень; фактичні характеристики обчислюють за допомогою коефіцієнтів "зсуву", постійних для всього діапазону зміни зведеної об'ємної продуктивності ВЦН без урахування виду та величини дефекту проточної частини, який викликав відхилення фактичних характеристик від паспортних.

В основу корисної моделі поставлена задача в способі визначення фактичних характеристик парку відцентрових нагнітачів газотранспортної системи шляхом послідовних серій періодичних вимірювань параметрів ВЦН із використанням статистичної обробки і фільтрації результатів обчислень, вибору виду найбільш ймовірного узагальненого нормованого дефекту на основі критерію мінімуму середньоквадратичного відхилення узагальненого нормованого дефекту від його прогнозованого значення, забезпечити підвищення точності та вірогідності визначення фактичних характеристик парку ВЦН газотранспортної системи.

Поставлена задача вирішується за рахунок того, що у відомому способі визначення фактичних характеристик парку відцентрових нагнітачів газотранспортної системи, що включає вимірювання тиску і температури газу на вході і виході за кожним нагнітачем, а також вимірювання числа обертів вала кожного нагнітача і густини компримованого газу, відповідно до корисної моделі одночасно за кожним к-им нагнітачем експлуатованого парку з НК газоперекачувальних агрегатів роблять NL серій з NI періодичних вимірювань зазначених параметрів агрегатних автоматик, формують для кожного i-го вимірювання 1-ої серії вектор вимірювань  $X_{k,i,l}$ , що включає значення

температури на вході і виході нагнітача  $T_{вх k,i,l}$ ,

$T_{вих k,i,l}$ , тиску газу на вході і виході нагнітача

$P_{вх k,i,l}$ ,  $P_{вих k,i,l}$  частоти обертання валу нагнітача

$n_{k,i,l}$  та густини газу  $\rho_{k,i,l}$ :

$$X_{k,i,l} = \{T_{вх k,i,l}, T_{вих k,i,l}, P_{вх k,i,l}, P_{вих k,i,l}, n_{k,i,l}, \rho_{k,i,l}\},$$

розраховують коефіцієнти стискальності, коефіцієнти ізобаричної стискальності, поправки до теплоємності на основі модифікованого рівняння стану Бенедикта-Вебба-Рабіна, далі з урахуванням розрахованих значень коефіцієнтів стискальності і поправок до теплоємності обчислюють значення зведеного ступеня стиску  $\varepsilon_{np}(X_{k,i,l})$  і політропного коефіцієнта корисної дії  $\eta_{пол}(X_{k,i,l})$ .

відповідно до політропного методу Шульца, для кожного  $k$ -го нагнітача,  $i$ -го вимірювання  $i$ -ої серії, і потім на основі розрахункових характеристик політропного коефіцієнта корисної дії  $\eta_{\text{полк},j}^p(Q_{\text{пр}}, D_{k,j})$

та зведеного ступеня стиску  $\varepsilon_{\text{прк},j}^p(Q_{\text{пр}}, D_{k,j})$ ,

$j = \overline{1, ND}$ , де  $ND$  - кількість видів узагальненого нормованого дефекту, які задаються в функції від величини і виду узагальненого нормованого дефекту  $D_i$ , у якості якого приймають зважену суму конкретних видів дефектів проточної частини відцентрового нагнітача та що однозначно визначає відхилення розрахункових характеристик від відповідних паспортних для різних видів і величин дефектів проточної частини нагнітача складають систему з двох рівнянь

$$\begin{cases} \varepsilon_{\text{прк}}(X_{k,i,l}) = \varepsilon_{\text{прк},j}^p(D_{k,i,l,j}, Q_{\text{прк},i,l,j}) \\ \eta_{\text{полк}}(X_{k,i,l}) = \eta_{\text{полк},j}^p(D_{k,i,l,j}, Q_{\text{прк},i,l,j}) \end{cases},$$

з якої за всією множиною векторів вимірювань  $X_{k,i,l}$  визначають множину значень узагальнених нормованих дефектів  $D_{k,i,l,j}$ , де  $k = \overline{1, NK}$ ,  $i = \overline{1, NI}$ ,

$l = \overline{1, NL}$ ,  $j = \overline{1, ND}$  та величини їхніх прогнозованих значень  $D_{k,i,l,j}^f$ , які розраховують виходячи з пропорційного збільшення значення узагальненого нормованого дефекту у функції від часу його наробітку, вимірюваного від початку серії, за допомогою виразу

$$D_{k,i,l,j}^f = D_{k,0,l,j} + t_{\text{нар}} \cdot VD_{k,l,j}^{\Phi},$$

де  $D_{k,0,l,j}$  - розрахункове значення величини  $j$ -го узагальненого дефекту на момент початку  $i$ -ої серії вимірювань  $k$ -го нагнітача,  $VD_{k,l,j}^{\Phi}$  - фільтроване значення швидкості збільшення величини  $j$ -го узагальненого дефекту на  $i$ -ій серії вимірювань  $VD_{k,l,j}$   $k$ -го нагнітача за час його наробітку між  $i$ -им  $i-1$  вимірюваннями,  $t_{\text{нар}}$  - час наробітку ВЦН, що вимірюють від початку серії, при цьому значення  $D_{k,0,l,j}$  і  $VD_{k,l,j}$  визначають по закінченню кожної серії вимірювання  $i=NI$ , розв'язуючи наступну систему рівнянь

$$\begin{cases} \frac{\partial F_{k,l-1,j}}{\partial D_{k,0,l,j}} = 0 \\ \frac{\partial F_{k,l-1,j}}{\partial VD_{k,l-1,j}} = 0 \end{cases},$$

де величина  $F_{k,l-1,j}$  дорівнює

$$F_{k,l-1,j} = \sum_{i=1}^{NI} (D_{k,i,l-1,j} - D_{k,i,l-1,j}^f)^2, \text{ а } VD_{k,l,j}^{\Phi} \text{ визначають}$$

зі співвідношення  $VD_{k,l,j} = b_1 \cdot VD_{k,l,j}^{\Phi} + b_0 \cdot VD_{k,l-1,j}^{\Phi}$ ,

де  $b_1$ ,  $b_0$  - коефіцієнти фільтра, потім, по закінченні  $NL$  серій періодичних вимірювань для кожного  $k$ -го нагнітача вибирають вид найбільш ймовір-

ного узагальненого нормованого дефекту  $s$  на основі критерію мінімуму середньоквадратичного відхилення узагальненого нормованого дефекту від його прогнозованого значення  $D_{k,i,l,j}^f$ , який задовольняє наступній умові

$$\sum_{l=1}^{NL} \sum_{i=1}^{NI} (D_{k,i,l,c}(X_{k,i,l}) - D_{k,i,l,c}^f)^2 < \sum_{l=1}^{NL} \sum_{i=1}^{NI} (D_{k,i,l,j}(X_{k,i,l}) - D_{k,i,l,j}^f)^2$$

для  $j=1, \dots, c-1, c+1, \dots, ND$ , далі шляхом лінійної інтерполяції розрахункових характеристик обраного виду узагальненого нормованого дефекту політропного коефіцієнта корисної дії  $\eta_{\text{полк},c}^p(Q_{\text{пр}}, D_{k,c})$  та

зведеного ступеня стиску  $\varepsilon_{\text{прк},c}^p(Q_{\text{пр}}, D_{k,c})$  для обчисленого значення  $D_{k,c}$ , яке дорівнює  $D_{k,0,NL,c}$  та масиву значень зведеної об'ємної продуктивності  $Q_{\text{пр},t}$ , де  $t = \overline{1, NT}$  і  $NT$  - кількість елементів масиву, визначають відповідні масиви значень  $\varepsilon_{\text{прк},t}^1$

та  $\eta_{\text{полк},t}^1$  на основі яких розраховують апроксимуючі поліноми фактичних зведених характеристик парку ВЦН газотранспортної системи  $\eta_{\text{полк}}^1(Q_{\text{пр}})$ ,  $\varepsilon_{\text{прк}}^1(Q_{\text{пр}})$ ,  $j = \overline{1, NK}$ .

Технічний результат, якого можна досягти при використанні винаходу, виражений у тому, що забезпечується підвищення точності та вірогідності визначення фактичних характеристик парку ВЦН газотранспортної системи.

Причинно-наслідковий зв'язок між сукупністю ознак винаходу і технічним результатом простежується в тому, що нові ознаки: використання послідовних серій періодичних вимірювань параметрів ВЦН із використанням статистичної обробки та фільтрації результатів обчислень, вибір виду найбільш ймовірного узагальненого нормованого дефекту на основі критерію мінімуму середньоквадратичного відхилення узагальненого нормованого дефекту від його прогнозованого значення, при взаємодії з відомими ознаками, а саме вимірювання тиску і температури газу на вході і виході за кожним нагнітачем, а також вимірюванням числа обертів вала кожного нагнітача і густини компримованого газу забезпечують прояв нових технічних властивостей, таких як зменшений вплив випадкових складових похибок каналів вимірювання параметрів ВЦН на результати вимірювань, малу похибку обчислення об'ємної продуктивності за рахунок не використання звужуючого пристрою, врахування виду та величини узагальненого дефекту проточної частини ВЦН. Це дозволяє одержати очікуваний технічний результат, а саме: підвищення точності та вірогідності визначення фактичних характеристик парку ВЦН газотранспортної системи.

При цьому підвищення точності та вірогідності визначення фактичних характеристик ВЦП газоперекачувального агрегату в запропонованому способі забезпечується за рахунок наступних ознак корисної моделі.

1. З метою зменшення впливу випадкових складових похибок каналів вимірювання параметрів ВЦН на результати обчислення його фактичних

характеристик згідно з формулою винаходу "роблять NL серій з NI періодичних вимірювань зазначених параметрів агрегатних автоматик, формулюють для кожного i-го вимірювання I-ої серії вектор вимірювань  $X_{k,i,l}$ ".

Вимога про незмінність значення приведеної об'ємної продуктивності ВЦН, так само як вимога про незмінність інших його параметрів під час проведення серії вимірювань не пред'являється.

2. Змінюється склад використовуваних параметрів відцентрового нагнітача за якими розраховуються витрати компримованого газу. Згідно з формулою корисної моделі кожний поточний i-ий вектор вимірювання  $X_{k,i,l}$  включає "значення температури на вході і виході нагнітача  $T_{вх\ k,i,l}$ ,  $T_{вих\ k,i,l}$ , тиску газу на вході і виході нагнітача  $P_{вх\ k,i,l}$ ,  $P_{вих\ k,i,l}$  частоти обертання валу нагнітача  $n_{k,i,l}$  та густини газу  $\rho_{k,i,l}$ :"

$$X_{k,i,l} = \{T_{вх\ k,i,l}, T_{вих\ k,i,l}, P_{вх\ k,i,l}, P_{вих\ k,i,l}, n_{k,i,l}, \rho_{k,i,l}\}$$

Інформацію про об'ємну продуктивність відцентрового нагнітача не використовують.

В умовах КС об'ємну продуктивність ВЦН обчислюють за допомогою звужуючого пристрою на його вході з похибкою до 20%. Така величина похибки не дозволяє використовувати цей параметр для визначення фактичних характеристик ВЦН із необхідною похибкою в декілька відсотків.

3. Використання "розрахункових характеристик політропного коефіцієнта корисної дії  $\eta_{пол,k,j}^p(Q_{пр}, D_{k,j})$  та зведеного ступеня стиску  $\varepsilon_{пр,k,j}^p(Q_{пр}, D_{k,j})$ ,  $j = \overline{1, ND}$ , де ND - кількість видів узагальненого нормованого дефекту, які задаються в функції від величини і виду узагальненого нормованого дефекту  $D_{k,j}$ , у якості якого приймають зважену суму конкретних видів дефектів проточної частини відцентрового нагнітача, що однозначно визначає відхилення цих характеристик від відповідних паспортних для різних видів і величин дефектів проточної частини нагнітача" у відповідності з формулою корисної моделі, дозволяє відмовитися від припущення прямого "зсуву" фактичних характеристик ВЦН від відповідних паспортних. Введення в розрахунок припущень, які не ґрунтуються на експериментальних випробуваннях та теоретичних дослідженнях з оцінкою похибки, внесеної в результати розрахунку, істотно знижує вірогідність результатів визначення фактичних характеристик ВЦН.

4. Вибір найбільш ймовірного узагальненого нормованого дефекту проточної частини ВЦН із загальної кількості дефектів введених у розгляд, що охоплює всі можливі комбінації конкретних видів дефектів (збільшення зазору в ущільненні покриваючого диска, підрізу лопаток робочого колеса нагнітача і т.д.) ґрунтується на фізичних процесах зміни останніх. Так за сукупністю обробки всіх вимірювань параметрів ВЦН "вибирають вид найбільш ймовірного узагальненого нормованого дефекту с на основі критерію мінімуму середньоквадратичного відхилення узагальненого нормованого дефекту від його прогнозованого значення", що "розраховують виходячи з пропоро-

ційного збільшення значення узагальненого нормованого дефекту у функції від часу його наробітку, вимірюваного від початку серії". Такий вибір виду найбільш ймовірного узагальненого нормованого дефекту є одним з основних факторів, що забезпечують максимальну вірогідність визначення фактичних характеристик ВЦН.

5. Величину найбільш ймовірного узагальненого дефекту ВЦН обчислюють за результатами обробки декількох послідовних серій періодичних вимірювань його параметрів з використанням статистичної обробки і фільтрації результатів обчислення в різних режимах експлуатації. Фактичні зведені характеристики ВЦН визначають у функції як від виду та величини узагальненого нормованого дефекту, так і від величини зведеної об'ємної продуктивності "шляхом лінійної інтерполяції розрахункових характеристик обраного виду узагальненого нормованого дефекту політропного коефіцієнта корисної дії  $\eta_{пол,k,c}^p(Q_{пр}, D_{k,c})$  та

приведеного ступеня стиску  $\varepsilon_{пр,k,c}^p(Q_{пр}, D_{k,c})$ ". Визначення фактичних характеристик ВЦН за його розрахунковими є уніфікованим способом для всіх експлуатованих типів парку ВЦН газотранспортної системи, для яких вплив дефектів проточних частин на положення фактичних характеристик відносно паспортних може істотно відрізнитися.

На кресленнях наведені:

Фіг.1 - система, що реалізує запропонований спосіб (приклад);

Фіг.2 - схема послідовності дій запропонованого способу;

Фіг.3 - модуль обробки серії векторів вимірювань  $X_{k,i,l}$ ;

Система, що реалізує запропонований спосіб, містить модуль узгодження паспортних характеристик ВЦН на основі використовуваної газодинамічної моделі стиску газу 1, модуль визначення розрахункових характеристик k-го ВЦН 2, датчики агрегатної автоматики k-го ВЦН 3, блок обробки вхідної інформації і формування вектора вимірювань  $X_{k,i,l}$  4, блок визначення поточних значень  $Q_{пр,k,i,l}$ ,  $D_{k,i,l,j}$  5, блок розрахунку прогнозованих значень  $D_{k,i,l,j}^r$  6, блок визначення найбільш ймовірного виду узагальненого нормованого дефекту k-го ВЦН  $D_{k,c}$  7, блок розрахунку фактичних зведених характеристик k-го ВЦН 8, блок розрахунку коефіцієнтів стискальності та поправок до тепловмістності 9, блок візуалізації та архівування 10 (Фіг.1).

Модуль узгодження паспортних характеристик ВЦН на основі використовуваної газодинамічної моделі стиску газу 1 призначений для уточнення положення однієї з трьох паспортних характеристик за двома іншими характеристиками на основі модифікованого рівняння стану Бендикта-Вебба-Робина та визначення показників процесу стиску газу за допомогою політропного методу Шульца.

Модуль визначення розрахункових характеристик k-го ВЦН 2 призначений для визначення розрахункових зведеної характеристики ступеня стиску та політропного ККД функції від зведеної

об'ємної продуктивності та величин і видів узагальнених нормованих дефектів.

Датчики агрегатної автоматики k-го ВЦН 3 забезпечують періодичні вимірювання значення температури газу на вході і виході нагнітача  $T_{\text{вх } k,i,l}$ ,  $T_{\text{вих } k,i,l}$ , тиску газу на вході і виході нагнітача  $P_{\text{вх } k,i,l}$ ,  $P_{\text{вих } k,i,l}$ , частоти обертання валу нагнітача  $n_{k,i,l}$  та густини газу  $\rho_{k,i,l}$ .

Блок обробки вхідної інформації і формування вектора вимірювань  $X_{k,i,l}$  4 призначений для зчитування, аналізу вірогідності, відновлення недостовірної, фільтрації інформації датчиків агрегатної автоматики та для формування вектора вимірювань

$$X_{k,i,l} = \{T_{\text{вх } k,i,l}, T_{\text{вих } k,i,l}, P_{\text{вх } k,i,l}, P_{\text{вих } k,i,l}, n_{k,i,l}, \rho_{k,i,l}\}$$

Блок визначення поточних значень  $Q_{\text{пр } k,i,l,j}$ ,  $D_{k,i,l,j}$  5 призначений для розрахунку зведеного ступеня стиску  $\varepsilon_{\text{пр}}(X_{k,i,l})$  та політропного коефіцієнта корисної дії  $\eta_{\text{пол}}(X_{k,i,l})$  за поточним вектором вимірювань  $X_{k,i,l}$ , знаходження поточних значень  $Q_{\text{пр } k,i,l,j}$  та  $D_{k,i,l,j}$  на основі розрахункових характеристик за знайденим значенням  $\varepsilon_{\text{пр}}(X_{k,i,l})$  та  $\eta_{\text{пол}}(X_{k,i,l})$  шляхом рішення системи рівнянь та формування множини значень зведеної об'ємної продуктивності

$$\{Q_{\text{пр } k,i,l,j}\}_{j=1, \text{NL}}, j = \overline{1, \text{ND}}, k = \overline{1, \text{NK}}, l = \overline{1, \text{NL}} \text{ та множини значень узагальненого нормованого дефекту}$$

$$\{D_{k,i,l,j}\}_{j=1, \text{NL}}, j = \overline{1, \text{ND}}, k = \overline{1, \text{NK}}, l = \overline{1, \text{NL}}.$$

Блок розрахунку прогнозованих значень  $D_{k,i,l,j}^r$  6 призначений для визначення значень узагальнених нормованих дефектів  $\{D_{k,0,k,j}\}_{j=1, \text{ND}}$  та значень швидкості їхнього збільшення  $\{D_{k,i,j}\}_{j=1, \text{ND}}$  на момент початку l-ї серії вимірювань за результатами розрахунку значень цих дефектів на попередній серії вимірювань, обчислення фільтрованих значень швидкості збільшення дефектів  $\{D_{k,i,j}^{\Phi}\}_{j=1, \text{ND}}$  та обчислення поточних прогнозованих значень узагальнених нормованих дефектів  $\{D_{k,i,l}^r\}$ .

Блок визначення найбільш ймовірного виду узагальненого нормованого дефекту k-го ВЦН  $D_{k,c}$  7 призначений для вибору найбільш ймовірного узагальненого нормованого дефекту  $D_{k,c}$ , за обчисленими множинами значень  $\{D_{k,i,l,j}\}$  та  $\{D_{k,i,l,j}^r\}$  на основі критерію мінімуму величини середньоквадратичного відхилення узагальненого нормованого дефекту  $D_{k,i,l,j}$  від його прогнозованого значення  $D_{k,i,l,j}^r$ .

Блок розрахунку фактичних зведених характеристик k-го ВЦН 8 призначений для їх визначення на основі вибору найбільш ймовірного виду узагальненого нормованого дефекту  $D_{k,c}$  та розрахункових характеристик  $\varepsilon_{\text{пр } k}^p(Q_{\text{пр}}, D_{k,c})$ ,  $\eta_{\text{пол } k}^p(Q_{\text{пр}}, D_{k,c})$ .

Блок розрахунку коефіцієнтів стискальності та поправок до теплоємності 9 призначений для розрахунку коефіцієнтів стискальності, коефіцієнтів ізобаричної стискальності, поправок до теплоємності на основі модифікованого рівняння стану Бенедикта-Вебба-Рабіна.

Блок візуалізації та архівування 10 призначений для візуалізації та архівування поточної вхідної інформації та результатів розрахунку фактичних зведених характеристик ВЦН.

У відповідності зі схемою послідовності дій (Фіг.2) запропонований спосіб реалізується таким чином.

Дії по знаходженню фактичних характеристик парку ВЦН газотранспортної системи в умовах компресорних станцій розподіляються на дії, які виконуються одноразово та періодичні дії.

За кожним типом ВЦН одноразово виконуються наступні дії:

- узгоджуються паспортні характеристики ВЦН на основі використовуваної газодинамічної моделі стиску газу;

- визначаються розрахункові характеристики ВЦН.

Необхідність узгодження паспортних характеристик, реалізована в модулі 1, диктується тим, що усі використовувані характеристики ВЦН в способі, що заявляється: паспортні, розрахункові, фактичні повинні ґрунтуватися на єдиному рівнянні стану природного газу і на тому ж самому методі визначення показників процесу стиску газу в нагнітачі. Без узгодження паспортних характеристик ВЦН зростає методична помилка визначення фактичних зведених характеристик.

Узгодження паспортних характеристик полягає в розрахунку однієї з трьох паспортних характеристик за двома іншими на основі модифікованого рівняння стану Бенедикта-Вебба-Рабіна та політропного методу Шульца визначення показників процесу стиску газу в нагнітачі:

- витратно-напірної характеристики за характеристиками політропного ККД та зведеної відносної внутрішньої потужності;

- характеристики політропного ККД за характеристиками витратно-напірної та зведеної відносної потужності;

- характеристики зведеної відносної потужності за характеристиками витратно-напірної та політропного ККД.

Розрахункові характеристики ВЦН визначають на основі натурних випробовувань та теоретичних досліджень зміни характеристик нагнітача для різних видів та величин дефектів проточної частини. За отриманими даними вказаних випробовувань та досліджень у модулі 2 визначають множини розрахункових характеристик політропного коефіцієнта корисної дії  $\eta_{\text{пол}}^p$  та зведеного ступеня сти-

ску  $\varepsilon_{\text{пр}}^p$  функції від зведеної об'ємної продуктивності  $Q_{\text{пр}}$  та величини та виду узагальненого нормованого дефекту  $D_{k,j}$ ,

$$\eta_{\text{пол } k}^p(D_{k,j}, Q_{\text{пр}}), j = \overline{1, \text{NK}}, j = \overline{1, \text{ND}};$$

$$\varepsilon_{\text{пр } k}^p(D_{k,j}, Q_{\text{пр}}), j = \overline{1, \text{NK}}, j = \overline{1, \text{ND}},$$

де  $NK$  - кількість газоперекачувальних агрегатів,  $ND$  - кількість видів узагальнених нормованих дефектів.

У якості узагальненого нормованого дефекту приймають зважену суму конкретних видів дефектів проточної частини відцентрового нагнітача, що однозначно визначає відхилення цих характеристик від відповідних паспортних для різних видів і величин дефектів проточної частини нагнітача (зазор в ущільненні покриваючого диска, підріз лопаток робочого колеса та лопаткового дифузора та ін.).

Також знаходять об'ємний номінальний показник політропи функції від об'ємної зведеної продуктивності  $m_{V_H}(Q_{пр})$ .

Виконувати періодичні дії у свою чергу підрозділяються на обчислення, які передбачають обробку кожного вимірювання в серії з  $NI$  вимірювань та на дії з результатами обчислень по закінченню кожної серії. По завершенню обробки  $NI$ -ї серії вимірювань визначаються фактичні зведені характеристики ВЦН (Фіг.2).

У модулі обробки серії векторів вимірювань  $X_{k,i,l}$  (Фіг.3) періодично за кожним  $i$ -им вимірюванням виконують наступні дії.

За допомогою блоку обробки вхідної інформації і формування вектора вимірювань  $X_{k,i,l}$  4 з датчиків агрегатної автоматики  $k$ -ого ВЦН періодично зчитують наступну інформацію: температура газу на вході та виході нагнітача  $T_{вх\ k,i,l}$ ,  $T_{вих\ k,i,l}$ , тиск газу на вході і виході нагнітача  $P_{вх\ k,i,l}$ ,  $P_{вих\ k,i,l}$  частоти обертання вала нагнітача  $n_{k,i,l}$  та густина газу  $\rho_{k,i,l}$ . Цю інформацію аналізують на достовірність, відновлюють недостовірну та фільтрують з відповідних датчиків агрегатної автоматики. Формують вектор вимірювань

$$X_{k,i,l} = \{T_{вх\ k,i,l}, T_{вих\ k,i,l}, P_{вх\ k,i,l}, P_{вих\ k,i,l}, n_{k,i,l}, \rho_{k,i,l}\}$$

Далі в блоці розрахунку коефіцієнтів стискальності та поправок до теплоємності 9 розраховують коефіцієнти стискальності на вході та виході нагнітача  $Z_{вх\ k,i,l}$ ,  $Z_{вих\ k,i,l}$  середній коефіцієнт стискальності  $Z_{сер\ k,i,l}$ , середній коефіцієнт ізобаричної стискальності  $V_{сер}$ , середнє значення теплоємності газу  $C_{р\ сер}$  на основі модифікованого рівняння стану Бенедикта-Вебба-Рабіна. З урахуванням розрахованих значень коефіцієнтів стискальності та теплоємності обчислюють політропний напір  $H_n(X_{k,i,l})$  та об'ємний і температурний показники політропи  $m_V(X_{k,i,l})$ ,  $m_T(X_{k,i,l})$

$$H_{n_p} = H_n(X_{k,i,l}) \cdot \left( \frac{n_n}{n_{k,i,l}} \right)^2, [Дж / кг];$$

$$H_n(X_{k,i,l}) = \frac{Z_{вх\ k,i,l} \cdot R \cdot T_{вх\ k,i,l}}{m_V(X_{k,i,l})} \left( \left( \frac{P_{вих\ k,i,l}}{P_{вх\ k,i,l}} \right)^{m_V(X_{k,i,l})} - 1 \right), [Дж / кг];$$

$$m_V(X_{k,i,l}) = \lg \left( \frac{Z_{вх\ k,i,l} \cdot T_{вих\ k,i,l}}{Z_{вх\ k,i,l} \cdot T_{вх\ k,i,l}} \right) / \lg \left( \frac{P_{вих\ k,i,l}}{P_{вх\ k,i,l}} \right);$$

$$m_T(X_{k,i,l}) = \lg \left( \frac{T_{вих\ k,i,l}}{T_{вх\ k,i,l}} \right) / \lg \left( \frac{P_{вих\ k,i,l}}{P_{вх\ k,i,l}} \right);$$

$$R = \frac{1,204 \cdot R_{пов}}{\rho_{k,i,l}}, [гс \cdot м / кг \cdot К];$$

Далі для кожного виду узагальненого нормованого дефекту  $D_{k,j}$  виконують наступні дії.

Розраховують значення об'ємної зведеної продуктивності  $Q_{пр}^S$  для обчислення об'ємного номінального показника політропи  $m_{V_H}(Q_{пр})$  як середнє значення мінімального  $Q_{пр\ min}$  та максимального значень  $Q_{пр\ max}$  зведеної об'ємної продуктивності. Шляхом лінійної інтерполяції розраховують об'ємний номінальний показник політропи  $m_{V_H}(Q_{пр})$  для  $Q_{пр} = Q_{пр}^S$ .

У блоці визначення поточних значень  $Q_{пр\ k,i,l,j}$ ,  $D_{k,i,l,j}$ , 5 розраховують значення зведеного ступеня стиску  $\varepsilon_{пр}(X_{k,i,l})$  та політропного коефіцієнта корисної дії  $\eta_{пол}(X_{k,i,l})$  відповідно до політропного методу Шульца для потокового вектора вимірювань  $X_{k,i,l}$  за формулами:

$$\varepsilon_{пр}(X_{k,i,l}) = \left( \frac{m_{V_H}(Q_{пр\ k,i,l}) \cdot H_{n_p}}{Z_{пр} \cdot R_{пр} \cdot T_{вх\ пр}} + 1 \right)^{\frac{1}{m_{V_H}(Q_{пр\ k,i,l})}};$$

$$\eta_{пол}(X_{k,i,l}) = \left( \frac{Z_{сер\ i} \cdot R}{C_{р\ сер\ i} - Z_{сер\ i} \cdot R \cdot V_{сер\ i} \cdot m_T^{-1}(X_{k,i,l})} \right)^{-1} \cdot \frac{1}{m_T(X_{k,i,l})}.$$

Далі знаходять  $D_{k,i,l,j}$ ,  $Q_{пр\ k,i,l,j}$  з рішення наступної системи рівнянь:

$$\begin{cases} \varepsilon_{пр\ k}(X_{k,i,l}) = \varepsilon_{пр\ k,j}(D_{k,i,l,j}, Q_{пр\ i,j}) \\ \eta_{пол\ k}(X_{k,i,l}) = \eta_{пол\ k,j}(D_{k,i,l,j}, Q_{пр\ i,j}) \end{cases}$$

За умови коли абсолютна величина різниці між  $Q_{пр}^S$  та  $Q_{пр\ i,j}$  більше заданої константи  $Q_c$

значенню  $Q_{пр}^S$  надають значення  $Q_{пр\ i,j}$  та повторюють дії, починаючи з розрахунку об'ємного номінального показника політропи. В іншому випадку визначають множину значень зведеної об'ємної продуктивності

$\{Q_{пр\ k,i,l,j}\} = \{1, NK, i = 1, NI, l = 1, NLj = 1, ND\}$  та множину значень узагальненого нормованого дефекту  $\{D_{k,i,l,j}\} = \{1, NK, i = 1, NI, l = 1, NLj = 1, ND\}$ .

Вище вказані дії повторюють для всіх видів узагальненого нормованого дефекту  $\{D_{k,i,l,j}\} = \{1, NK, i = 1, NI, l = 1, NLj = 1, ND\}$  та для кожного вимірювання з серії  $i = 1, NI$ .

По закінченні  $(l-1)$ -ї серії вимірювань у блоці 6 для кожного  $j$ -го виду узагальненого нормованого дефекту обчислюють розрахункове значення його величини  $D_{k,0,l,j}$  та швидкості його збільшення  $VD_{k,l,j}$  на момент початку наступної  $l$ -ї серії вимірювань, виходячи з рішення наступної системи рівнянь



$$\begin{cases} \frac{\partial F_{k,l-1,j}}{\partial D_{k,0,l,j}} = 0 \\ \frac{\partial F_{k,l-1,j}}{\partial VD_{k,l-1,j}} = 0 \end{cases},$$

де  $VD_{k,l,j} = b_1 \cdot VD_{k,l,j}^{\Phi} + b_0 \cdot VD_{k,l-1,j}^{\Phi}$ .

З метою зменшення впливу похибок датчиків агрегатної автоматики на розрахунок прогнозованих значень узагальнених нормованих дефектів

$\hat{D}_{k,i,l,j}^f$  обчислення швидкості фільтрують за допомогою фільтра першого порядку

$F_{k,l-1,j} = \sum_{i=1}^{NI} (D_{k,i,l-1,j} - D_{k,i,l-1,j}^f)^2$ , де  $b_1, b_0$  - коефіцієнти фільтра.

Прогнозовані значення  $D_{k,i,l,j}^f$  розраховують виходячи з пропорційного збільшення узагальненого нормованого дефекту у функції від часу його набіртки  $t_{нар}$ , вимірюваного від початку серії, за допомогою виразу  $D_{k,i,l,j}^f = D_{k,0,l,j} + t_{нар} \cdot VD_{k,l,j}^{\Phi}$ .

По завершенню обчислення значень узагальнених нормованих дефектів та їхніх прогнозованих значень для всіх NL серій вимірювань у блоці визначення найбільш імовірного виду узагальненого нормованого дефекту k-го ВЦН  $D_{k,c}$  7 вибирають найбільш імовірний узагальнений нормований дефект  $D_{k,c}$ , який однозначно характеризує положення фактичних характеристик відцентрового нагнітача відносно відповідних паспортних, за обчисленою множиною значень  $\hat{D}_{k,i,l,j}^f$ ,  $k = \overline{1, NK}$ ,  $i = \overline{1, NI}$ ,  $l = \overline{1, NL}$ ,  $j = \overline{1, ND}$  на основі критерію мінімуму величини середньоквадратичного відхилення узагальненого нормованого дефекту від його прогнозованого значення  $D_{k,i,l,j}^f$ :

$$\sum_{l=1}^{NL} \sum_{i=1}^{NI} (D_{k,i,l,c} (X_{k,i,l}) - D_{k,i,l,c}^f)^2 < \sum_{l=1}^{NL} \sum_{i=1}^{NI} (D_{k,i,l,j} (X_{k,i,l}) - D_{k,i,l,j}^f)^2$$

для  $j = \overline{1, c-1, 3+1, \dots, ND}$ ...

Фактичні зведені характеристики k-го ВЦН  $\varepsilon_{прк}^f(Q_{пр})$ ,  $\eta_{полк}^f(Q_{пр})$  визначають шляхом лінійної інтерполяції розрахункових характеристик обраного виду узагальненого нормованого дефекту с політропного коефіцієнта корисної дії

$\eta_{полк}^p(Q_{пр}) = (Q_{пр}, D_{kc})$  та зведеного ступеня стис-

ку  $\varepsilon_{прк}^f(Q_{пр}) = \eta_{прк,c}^p(Q_{пр}, D_{kc})$  для значення  $D_{kc}$ , що дорівнює  $D_{k,0,NL,c}$ . Для визначення фактичних зведеної витратно-напірної  $\varepsilon_{прк}^f(Q_{пр})$ , політропного

ККД  $\eta_{полк}^p(Q_{пр})$  та зведеної внутрішньої відносної

потужності  $\eta_u / \rho_{дрк}^T(Q_{пр})$  характеристик у вигляді

апроксимуючих поліномів необхідного ступеня. Діапазон від мінімального значення зведеної об'ємної продуктивності  $Q_{пр \min k}$  до максимального  $Q_{пр \max k}$  розбивають на рівні відрізки та формують множину значень зведеної об'ємної продуктивності

$\varepsilon_{прт}^f$ , де  $t = \overline{1, NT}$  та NT - кількість елементів масиву. Для сформованої множини значень  $\varepsilon_{прт}^f$  за

характеристиками  $\varepsilon_{прк}^f(Q_{пр})$  та  $\eta_{полк}^k(Q_{пр})$  визначають відповідно масиви значень

$\varepsilon_{прк,t}^f$ ,  $\eta_{полк,t}^k$ ,  $t = \overline{1, NT}$  на основі яких розраховують апроксимуючі поліноми відповідно фактичних витратно-напірної та політропного ККД характеристики зведеної внутрішньої відносної потужності  $\eta_u / \rho_{дрк}^T(Q_{пр})$  розраховують за масивами зна-

чень  $\varepsilon_{прк,t}^f$  та  $\eta_{полк,t}^k$ ,  $t = \overline{1, NT}$  на основі використовуваної в способі, що заявляється, газодинамічної моделі процесу стискування газу.

Джерела інформації:

1. Галиуллин З.Т., Леонтьев Е.В. Интенсификация магистрального транспорта газа. - М.: Недра. 1991. - 272с.

2. Определение газодинамических характеристик нагнетателей на КС. А.М. Проскуряков, А.И. Черников, В.И. Лысюк, М.Б. Письман. Газовая промышленность, №5, 2000г, с.48-50.

3. Поршаков Б.П., Лопатин А.С., Назарьина А.М., Рябченко А.С. Повышение эффективности эксплуатации энергопривода компрессорных станций. - М.: Недра, 1992. - 207с.: ил.



Система, що реалізує запропонований спосіб (приклад)

Фіг. 1

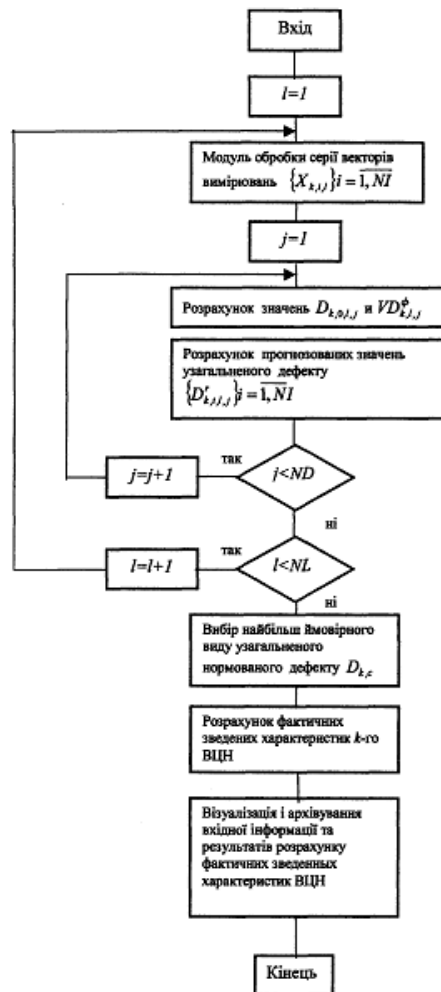
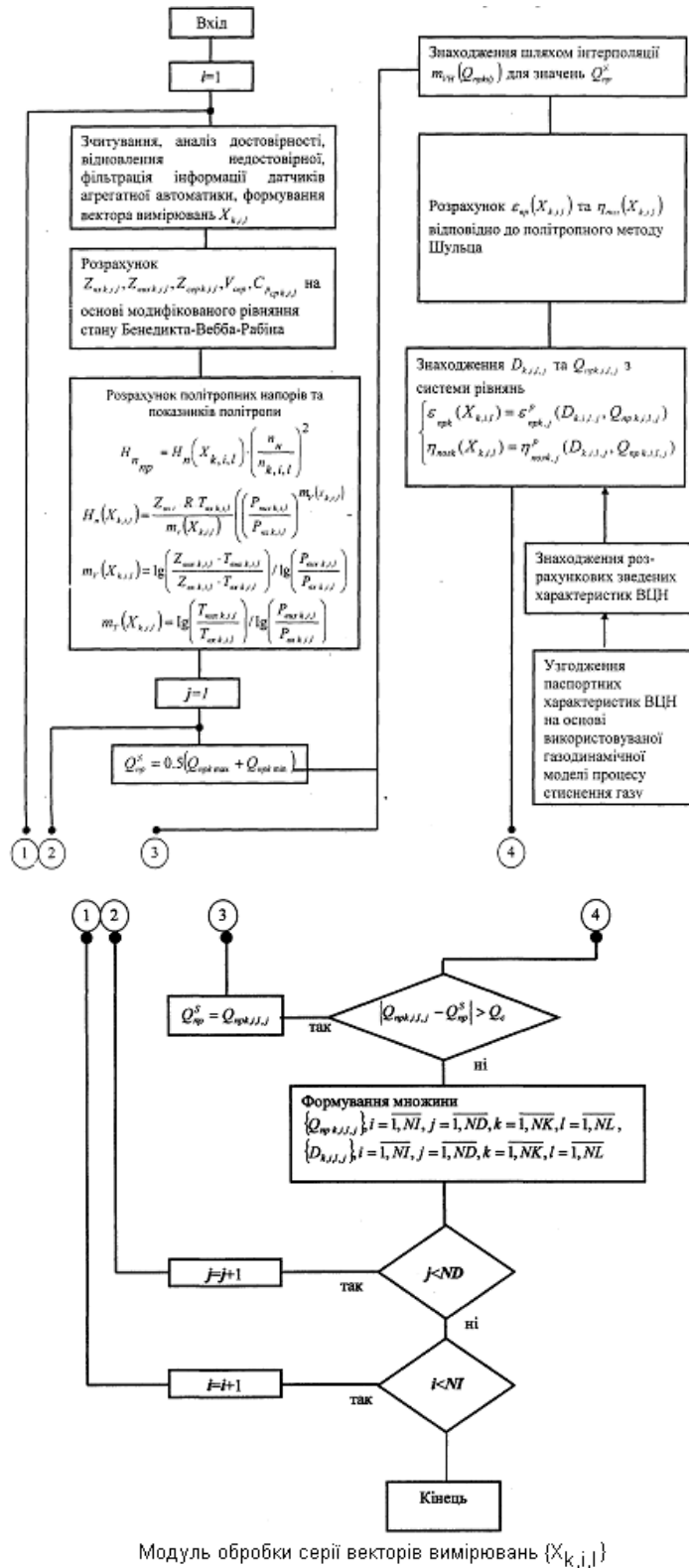


Схема послідовності дій запропонованого способу

Фіг. 2



Фіг. 3