



УКРАЇНА

(19) UA (11) 28150 (13) U
(51) МПК (2006)
G01F 1/34

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ
І НАУКИ УКРАЇНИ

ДЕРЖАВНИЙ ДЕПАРТАМЕНТ
ІНТЕЛЕКТУАЛЬНОЇ
ВЛАСНОСТІ

ОПИС ДО ПАТЕНТУ НА КОРИСНУ МОДЕЛЬ

видається під
відповідальність
власника
патенту

(54) СПОСІБ ВИЗНАЧЕННЯ ТЕПЛОТЕХНІЧНИХ ПОКАЗНИКІВ І ФАКТИЧНИХ ХАРАКТЕРИСТИК ВІДЦЕНТРОВИХ НАГНІТАЧІВ ГАЗОТРАСПОРТНОЇ СИСТЕМИ

1

2

(21) u200708568

(22) 26.07.2007

(24) 26.11.2007

(72) ПРИЩЕПО ОЛЕКСАНДР ОЛЕКСІЙОВИЧ, UA,
ІЛЬЧЕНКО БОРИС САМУІЛОВИЧ, UA, ІЗМАЛКОВ
БОРИС ІВАНОВИЧ, UA, ІЗМАЛКОВ ВОЛОДИМИР
БОРИСОВИЧ, UA

(73) ДОЧІРНЯ КОМПАНІЯ "УКРТРАНСГАЗ"
НАЦІОНАЛЬНОЇ АКЦІОНЕРНОЇ КОМПАНІЇ
"НАФТОГАЗ УКРАЇНИ", UA

(56)

(57) Спосіб визначення теплотехнічних показників і фактичних характеристик нагнітачів газотранспортної системи, що включає вимірювання тиску і температури газу на вході і виході за кожним відцентровим нагнітачем (ВЦН), а також вимірювання кількості обертів вала кожного ВЦН і густини компримованого газу, що передбачає виконання NL серій з NI періодичних вимірювань параметрів усіх ВЦН газотранспортної системи і формування для кожного k-го ВЦН, кожного i-го виміру ℓ -ої серії вектор вимірювань $X_{k,i,\ell}$, що включає в себе значення температури на вході і виході ВЦН $T_{вх\ k,i,\ell}$, $T_{вих\ k,i,\ell}$ тиску газу на вході і виході ВЦН $P_{вх\ k,i,\ell}$, $P_{вих\ k,i,\ell}$, частоту обертання вала ВЦН $n_{k,i,\ell}$ і густину газу $\rho_{k,i,\ell}$

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

який відрізняється тим, що додатково визначають коефіцієнти технічного стану і теплотехнічні показники ВЦН за кожним компресорним цехом газотранспортної системи і при цьому одночасно в обчислювач визначення фактичних теплотехнічних показників і характеристик ВЦН подають інформацію датчиків агрегатної автоматики цеху та інформацію датчиків цехової автоматики компресорного цеху і потім в обчислювачі формують вектор вимірювань параметрів цеху $X_{i,\ell}^{цех}$ що включають значення температури газу на вході цеху і виході цеху до апаратури повітряного охолодження $T_{вх\ i,\ell}^{цех}$, $T_{вих\ i,\ell}^{цех}$,

тиску газу на вході і виході цеху $P_{вх\ i,\ell}^{цех}$, $P_{вих\ i,\ell}^{цех}$,

абсолютного тиску атмосферного повітря $P_{a,i,\ell}$

$X_{i,\ell}^{цех} = \{T_{вх\ i,\ell}^{цех}, T_{вих\ i,\ell}^{цех}, P_{вх\ i,\ell}^{цех}, P_{вих\ i,\ell}^{цех}\}$

визначають розрахункові значення температури і тиску газу у вхідному і вихідному колекторі цеху

$T_{вх\ s,i,\ell}^{кол}$, $T_{вих\ s,i,\ell}^{кол}$, $P_{вх\ s,i,\ell}^{кол}$, $P_{вих\ s,i,\ell}^{кол}$ кожного 5-го ступеня

компримування газу в залежності від схеми підключення ВЦН у компресорному цеху, далі для кожного i-го вимірювання за множиною векторів

$\{X_{k,i,\ell}\}_{i=1,NK}$ і вектором $X_{i,\ell}^{цех}$ обчислюють

фактичні відхилення

$\delta T_{вх\ k,i,\ell}$, $\delta T_{вих\ k,i,\ell}$, $\delta P_{вх\ k,i,\ell}$, $\delta P_{вих\ k,i,\ell}$ і гранично

припустимі відхилення вимірюваних значень температури і тиску газу на вході і виході ВЦН від розрахункових значень температури і тиску газу вхідного і вихідного колекторів

$\sigma T_{вх\ k,i,\ell}$, $\sigma T_{вих\ k,i,\ell}$, $\sigma P_{вх\ k,i,\ell}$, $\sigma P_{вих\ k,i,\ell}$, визначають

канали вимірювань параметрів ВЦН із недостовірною інформацією, в яких модуль фактичного відхилення перевищує гранично припустиме значення $|\delta Z_{i,k,\ell}| > \sigma Z_{i,k,\ell}$,

$Z = (T_{вх}, T_{вих}, P_{вх}, P_{вих})$, формують множини NK розрахункових векторів вимірювань параметрів ВЦН

$\{X_{k,i,\ell}^r\}_{k=1,NK}$

$X_{k,i,\ell} = \{T_{вх\ k,i,\ell}, T_{вих\ k,i,\ell}, P_{вх\ k,i,\ell}, P_{вих\ k,i,\ell}, n_{k,i,\ell}, \rho_{k,i,\ell}\}$ на основі множини векторів $\{X_{k,i,\ell}\}$ і вектора

$X_{i,\ell}^{цех}$ з урахуванням відновлення інформації в

каналах вимірювань з недостовірною інформацією, далі для кожного k-го ВЦН i-го виміру ℓ -ої серії обчислюють значення зведеного

ступеня стиску $\varepsilon_{пр}(X_{k,i,\ell}^r)$ і політропного

коефіцієнта корисної дії $\eta_{пол}(X_{k,i,\ell}^r)$ відповідно до

політропного методу Шульца, визначають поточне значення узагальненого нормованого дефекту

$D_{k,i,\ell,j}(X_{k,i,\ell}^r)$ та зведеної об'ємної продуктивності

UA (11) 28150 (13) U

$Q_{\text{прк},i,\ell,j}(X_{k,i,\ell}^r)$, виходячи з розв'язання системи рівнянь

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

де $\varepsilon_{\text{прк},j}^p(D_j, Q_{\text{пр}})$, $\eta_{\text{полк},j}^p(D_j, Q_{\text{пр}})$ розрахункові характеристики зведеного ступеня стиску та політропного коефіцієнта корисної дії у функції від виду і величини узагальненого нормованого дефекту D_j $j = \overline{1, ND}$ і зведеної об'ємної продуктивності $Q_{\text{пр}}$, далі по закінченні кожної ℓ -ої серії вимірювань розраховують прогнозоване значення величини j -го узагальненого нормованого дефекту на початок $\ell + 1$ серії вимірювань кожного k -го ВЦН $D_{k,0,1,j}$ і фільтрованої швидкості його зміни $VD_{k,\ell,j}^\Phi$, за значеннями яких визначають прогнозоване значення узагальненого нормованого дефекту j -го виду $D_{k,i,\ell+1,j}^r$ на $\ell + 1$ серії

$$D_{k,i,\ell+1,j}^r = D_{k,0,1,j} + t_{\text{нарк}} \cdot VD_{k,\ell,j}^\Phi,$$

де $t_{\text{нарк}}$ - час наробітку k -го ВЦН від початку серії, потім після закінчення NL серій періодичних вимірювань НК агрегатної і цехової автоматики для кожного k -го ВЦН компресорного цеху на основі критерію мінімуму середньоквадратичного відхилення узагальненого нормованого дефекту від його прогнозованого значення $D_{k,i,\ell,j}^r$, вибирають вид найбільш ймовірного узагальненого нормованого дефекту s , виходячи з умови

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

для $j=1, \dots, c-1$, $c+1, \dots, ND$, далі шляхом лінійної інтерполяції розрахункових характеристик політропного коефіцієнта корисної дії $\eta_{\text{полк},c}^p(Q_{\text{пр}}, D_{k,c})$ і зведеного ступеня стиску $\varepsilon_{\text{прк},c}^p(Q_{\text{пр}}, D_{k,c})$ для вибраного виду узагальненого нормованого дефекту та обчисленого значення $D_{k,c}$, $D_{k,c} = D_{k,0,NL,c}$, а також масиву значень зведеної об'ємної продуктивності $\{Q_{\text{прт}}\}$, де $t = \overline{1, NT}$ і NT - кількість

елементів масиву, визначають відповідні масиви значень $\{\varepsilon_{\text{прк},i}(Q_{\text{прт}})\}$ і $\{\eta_{\text{полк},i}(Q_{\text{прт}})\}$, на основі яких розраховують апроксимуючі поліноми фактичних характеристик зведеного ступеня стиску $\varepsilon_{\text{прк}}^f(Q_{\text{пр}})$, політропного коефіцієнта

корисної дії $\eta_{\text{полк}}^f(Q_{\text{пр}})$ та зведеної внутрішньої

відносної потужності $\left[\frac{N}{P}\right]_{\text{прк}}^f(Q_{\text{пр}})$ для всіх НК

ВЦН компресорного цеху, визначають коефіцієнти технічного стану ВЦН за потужністю і коефіцієнтом корисної дії

$$K_k^N = \frac{\left[\frac{N}{P}\right]_{\text{прк}}^f(Q_{\text{пр ном}})}{\left[\frac{N}{P}\right]_{\text{прк}}^{\Pi}(Q_{\text{пр ном}})}, \quad K_k^{\eta} = \frac{\eta_{\text{полк}}^f(Q_{\text{пр ном}})}{\eta_{\text{полк}}^{\Pi}(Q_{\text{пр ном}})},$$

де індекс "П" позначає визначення параметра за відповідною паспортною характеристикою, а індекс "ном" - номінальне значення зведеної об'ємної продуктивності ВЦН, і потім після визначення фактичних характеристик ВЦН розраховують його теплотехнічні показники: політропний коефіцієнт корисної дії

$$\eta_{\text{полк},i} = \eta_{\text{полк}}^f(Q_{\text{прк},i,\ell}), \text{ потужність}$$

$$N_{k,i} = \left[\frac{N}{P}\right]_{\text{прк}}^f(Q_{\text{прк},i,\ell}) \cdot \rho_{\text{вхк},i,\ell} \cdot \left(\frac{n_{k,i,\ell}}{n_{\text{ном}}}\right)^3 \quad \text{та}$$

комерційну продуктивність

$$Q_{\text{комк},i} = \frac{0,00144 \cdot (P_{\text{вхк},i,\ell} + P_{a,i,\ell}) \cdot T_{\text{ст}} \cdot Q_{\text{прк},i,\ell} \cdot n_{k,i,\ell}}{P_{\text{ст}} \cdot T_{\text{вхк},i,\ell} \cdot Z_{\text{вхк},i,\ell} \cdot n_{\text{ном}}},$$

де $Q_{\text{прк},i,\ell}$ значення зведеної об'ємної продуктивності, розраховане за вектором $X_{k,i,\ell}^r$ і

характеристикою $\varepsilon_{\text{прк}}^p(Q_{\text{пр}})$, а $\rho_{\text{вхк},i,\ell}$ і $Z_{\text{вхк},i,\ell}$ - значення густини газу і відповідно коефіцієнта стисливості газу на вході k -го ВЦН, розраховані за вектором $X_{k,i,\ell}^r$, $T_{\text{ст}}$, $P_{\text{ст}}$ - значення температури і тиску газу, за яких визначають комерційну продуктивність, і далі розраховані фактичні теплотехнічні показники та характеристики візуалізують на засобах відображення інформації і архівують в обчислювачі.

Корисна модель відноситься до вимірювань у газотранспортній області, а саме до знаходження необхідних даних для ефективного управління газотранспортною системою і призначена для визначення фактичного функціонально-технічного стану (ФТС) нагнітачів (ВЦН) газоперекачувальних

агрегатів (ГПА) на компресорних станціях (КС) магістральних газопроводів.

Надійне та ефективне функціонування газотранспортної системи можливе при рішенні ряду ключових проблемних питань, одним із яких є визначення фактичного ФТС ВЦН газоперекачувальних агрегатів. Визначення ФТС

ВЦН містить у собі розрахунок:

- фактичних зведених характеристик;
- коефіцієнтів технічного стану у функції від теплотехнічних показників;
- теплотехнічних показників (потужності, комерційній продуктивності, приведеній ступеневі стиску, політропного ККД і ін.)

При відсутності інформації про фактичний ФТС ВЦН кількість ГПА, що включаються в компресорному цеху (КЦ) на перекачування газу визначається за ВЦН з якомога "гіршими" характеристиками. У свою чергу ці "гірші" характеристики точно не визначені і тому кількість ГПА, що включаються в КЦ вибирається з запасом. Цей запас приводить до недозавантаження працюючих ГПА і як наслідок до перевитрати паливного газу. Оперативна інформація щодо фактичного ФТС ВЦН також необхідна для виключення аварійної зупинки ГПА через помпаж ВЦН, виключення випадків перевищення необхідної внутрішньої потужності ВЦН відносно ефективної потужності газотурбінної установки, технічного обслуговування за фактичним станом, а не за плановими термінами. Необхідну оперативну інформацію про фактичний ФТС ВЦН експлуатованого парку ГПА газотранспортної системи можливо визначити в умовах КС тільки за інформацією штатних вимірювань параметрів агрегатними та цеховими автоматами.

Відомі методи параметричної діагностики ВЦН, як правило, передбачають визначення фактичних характеристик або коефіцієнтів технічного стану ВЦН. У той же час ці методи спираються на ряд допущень про незмінність окремих характеристик ВЦН у процесі експлуатації або про визначений характер зсуву фактичних характеристик відносно паспортних, знайдених експериментально, і як наслідок, не забезпечують необхідну точність і вірогідність результатів діагностування. Багато в чому зниження точності і вірогідності результатів діагностування пов'язане з тим, що фактичні характеристики ВЦН визначаються тільки за інформацією його агрегатної автоматики, а не всіх агрегатних автоматик ГПА КЦ.

Відомий метод визначення газодинамічних характеристик ВЦН на КС на основі розрахунку безвимірних характеристик ВЦН, політропного ККД

$\eta_{\text{пол}}$ та політропного коефіцієнта напору $\psi_{\text{пол}}$ від коефіцієнта витрати Φ . Безвимірні характеристики розраховуються при іспитах ВЦН на повітрі на декількох режимах за витратою з різними еквівалентними частотами обертання. Вхідною інформацією для розрахунку є дані вимірювань наступних параметрів: температури зовнішнього повітря, перепаду тиску повітря на витратомірній шайбі, розрідження повітря перед ВЦН та його тиску за ВЦН, температури повітря перед і за ВЦН, барометричного тиску, частоти обертання ротора і перепаду тиску на конфузори, встановленому у всмоктувальній камері ВЦН.

Для обчислення газодинамічних характеристик ВЦН за безвимірними

характеристиками виконують наступну послідовність дій.

Діапазон значень коефіцієнта витрати від мінімального значення (помпажу) до максимального (режиму максимальної продуктивності) розбивають на 12 точок. Для кожного значення коефіцієнта витрати Φ_j , $j = 1, 12$ визначають за безвимірними характеристиками

ВЦН відповідні значення $\eta_{\text{пол}}(\Phi_j)$ і $\psi_{\text{пол}}(\Phi_j)$. Потім обчислюють витрату газу на вході в ВЦН

$Q_j = \pi \cdot u_2 \cdot D_2^2 \cdot \Phi_j / 4$, де u_2 - кругова швидкість на периферії робочого колеса, що відповідає частоті обертання робочого колеса n_1 , D_2 - діаметр робочого колеса та визначають різницю ентальпій газу на вході i_{nj} і виході i_{kj} як

$$\Delta i_j = i_{kj} - i_{nj} = \psi_{\text{пол}}(\Phi_j) \cdot \frac{u_2^2}{\eta_{\text{пол } j}} \quad \text{Далі за}$$

допомогою ітераційної процедури за значеннями тиску на виході ВЦН P_k , температурі газу на вході

в ВЦН T_n і політропного ККД $\eta_{\text{пол } j}$ із використанням рівнянь політропного процесу стиску в ВЦН підбирають значення тиску на вході в ВЦН P_{nj} таким чином, щоб значення ентальпії i_{kj} на виході ВЦН (P_k , T_k) забезпечувало знайдене

значення Δi_j . 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 Φ_j [1].

Даний метод визначення газодинамічних характеристик ВЦН на КС за допомогою безвимірних характеристик ВЦН також як і спосіб визначення теплотехнічних показників і фактичних характеристик ВЦН газотранспортної системи, що заявляється, включає вимірювання тиску і температури газу на вході і виході за кожним ВЦН, а також вимірювання числа обертів вала кожного ВЦН і густини компримованого газу. Однак цей метод має низьку точність і низьку вірогідність визначення теплотехнічних показників та фактичних зведених характеристик ВЦН газотранспортної системи через те, що безвимірні характеристики ВЦН визначають одноразово. Стабільність характеристик у процесі експлуатації, незалежність їх від розвитку дефектів проточної частини не підтверджують. Крім того, відсутні оцінки залежності безвимірних характеристик ВЦН від частоти обертання робочого колеса, рівня тиску та температур компримованого газу, а також складу газу.

Відомий також метод визначення газодинамічних характеристик ВЦН 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 стиснення

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

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

- коефіцієнт, що враховує "зсув"

характеристики політропного ККД $\eta_{пол}$

$$K_H^{\eta_{пол}} = \frac{\eta_{пол}}{\eta_{\Pi}},$$

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 входні параметри: значення температури газу на вході і виході ВЦН t_1, t_2 , тиск газу на вході і виході ВЦН P_1, P_2 , частота обертань його ротора n , компонентна сполука газу та об'ємна продуктивність ВЦН Q_{np} .

Термогазодинамічну модель процесу стиснення газу описують наступною системою співвідношень:

- різниця ентальпій 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)

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

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

- політропний ККД
- масова продуктивність $Q = f_3(Q_{np}, P_1, t_1)$;
- потужність ВЦН $N_i = Q \cdot \Delta h$;
- зведена внутрішня відносна потужність

$$\left[\frac{N_i}{P_1}\right]_{np} = f_4(N_i, P_1, t_1, n);$$

- паспортний політропний ККД $\eta_{пол}^{\Pi} = f_5(Q_{np})$;
- паспортне значення зведеної внутрішньої

$$\left(\frac{N_i}{P}\right)^{\Pi} = f_5(Q_{np})$$

відносної потужності ВЦН. Фактичні характеристики політропного ККД та зведеної внутрішньої відносної потужності визначають як добуток відповідних коефіцієнтів "зсуву" на значення паспортних характеристик [2].

Даний метод визначення газодинамічних характеристик ВЦН також як і спосіб визначення теплотехнічних показників і фактичних

характеристик ВЦН газотранспортної системи, що заявляється, включає вимірювання тиску і температури газу на вході і виході за кожним ВЦН, а також вимірювання числа обертів вала кожного ВЦН і густини компримованого газу.

Однак цей метод має низьку точність і низьку вірогідність визначення теплотехнічних показників та фактичних зведених характеристик ВЦН газотранспортної системи за наступними причинами:

- передбачається використання у якості вхідного параметра інформації про об'ємну продуктивність ВЦН, яка в умовах КС 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 вимірюваної величини;

- фактичні характеристики ВЦН 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.

Найближчим за технічною суттю аналогом, який обрано у якості прототипу є метод визначення фактичних характеристик ВЦН на основі узагальненого нормованого дефекту його проточної частини. Для кожного k-го ВЦН 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 ВЦН $T_{вхк,i,l}, T_{вихк,i,l}$ тиску газу на вході і виході ВЦН $P_{вхк,i,l}, P_{вихк,i,l}$ частоти обертання вала ВЦН $n_{k,i,l}$ та густини газу $\rho_{k,i,l}$:

$$X_{k,i,l} = \{T_{вхк,i,l}, T_{вихк,i,l}, P_{вхк,i,l}, P_{вихк,i,l}, n_{k,i,l}, \rho_{k,i,l}\},$$

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 поліфонного коефіцієнта корисної дії

$\eta_{пол}(X_{k,i,l})$ відповідно до політропного методу Шульца, для кожного k-го ВЦН, i-го вимірювання ℓ -ої серії, і потім на основі розрахункових характеристик політропного коефіцієнта корисної дії $\eta_{полк,j}^p(Q_{np}, D_{k,j})$ та зведеного ступеня стиску

$\varepsilon_{прк,j}^p(Q_{np}, D_{k,j})$, $j = \overline{1, ND}$, де ND - кількість видів узагальненого нормованого дефекту, які

задаються в функції від величини i виду узагальненого нормованого дефекту $D_{k,j}$, у якості якого приймають зважену суму конкретних видів дефектів проточної частини ВЦН та що однозначно визначає відхилення розрахункових характеристик від відповідних паспортних для різних видів i величин дефектів проточної частини ВЦН складають систему з двох рівнянь

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

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

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

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

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

де величина $F_{k,i-1,j}$ дорівнює

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

визначають зі співвідношення $VD_{k,i,l,j} = b_1 \cdot VD_{k,i,l,j}^{\Phi} + b_0 \cdot VD_{k,i-1,j}^{\Phi}$, де b_1 , b_0 - коефіцієнти фільтра, потім, по закінченні NL серій періодичних вимірювань для кожного k -го ВЦН 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 наступній умові

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

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 $\{\varepsilon_{\text{прк},t}\}$ та $\{\eta_{\text{полк},t}\}$ на основі яких розраховують апроксимуючі поліноми фактичних зведених характеристик парку ВЦН газотранспортної системи

$$\{\eta_{\text{полк}}^p(Q_{\text{пр}})\}, \{\varepsilon_{\text{прк}}^p(Q_{\text{пр}})\}, k = \overline{1, NK}$$

Даний метод визначення фактичних характеристик ВЦН також як і спосіб визначення теплотехнічних показників і фактичних характеристик ВЦН газотранспортної системи, що заявляється, включає вимірювання тиску і температури газу на вході і виході за кожним ВЦН, а також вимірювання числа обертів вала кожного ВЦН і густини компримованого газу.

Однак цей метод має низьку точність і низьку вірогідність визначення теплотехнічних показників та фактичних зведених характеристик ВЦН газотранспортної системи оскільки не передбачає визначення коефіцієнтів технічного стану і поточних теплотехнічних показників ВЦН, що не дозволяє оперативно, у режимі реального часу, використовувати його в програмно-алгоритмічному забезпеченні систем керування ГПА та КЦ. Крім того, фактичні характеристики визначаються індивідуально за кожним ВЦН і тільки за інформацією його агрегатної автоматики, що знижує вірогідність і точність методу через не облік інформації агрегатних автоматик інших ВЦН КС, що працюють із загальним вхідним і/або вихідним колекторами. Інформація про температуру газу на входах ВЦН із загальним вхідним колектором повинна збігатися з точністю до похибок каналів її вимірювання. Відповідно значення тисків газу на вході кожного ВЦН не повинні відрізнятися між собою на величину більше похибки каналу вимірювання тиску і розкидів падіння тиску газу у вхідному колекторі. Аналогічними умовами пов'язані між собою значення тиску і температури газу на виході ВЦН із загальним вихідним колектором.

В основу корисної моделі поставлена задача у способі визначення теплотехнічних показників і фактичних характеристик ВЦН газотранспортної системи шляхом послідовних серій періодичних вимірювань параметрів всіх працюючих у КЦ ВЦН, а також параметрів КЦ із визначенням розрахункових значень температури і тиску газу у вхідному і вихідному колекторах кожного ступеня компримування КЦ із виключенням недостовірних вимірювань, розрахунком за кожним ВЦН на кожному вимірюванні показників процесу стискування газу, вибором найбільш ймовірного виду узагальненого нормованого дефекту ВЦН, виходячи з критерію максимуму вірогідності забезпечити підвищення точності та вірогідності визначення теплотехнічних показників та фактичних зведених характеристик ВЦН

газотранспортної системи.

Поставлена задача вирішується за рахунок того, що у відомому способі визначення фактичних теплотехнічних показників і характеристик ВЦН по інформації цехової і агрегатних автоматик, що включає вимірювання тиску і температури газу на вході і виході за кожним ВЦН, а також вимірювання кількості обертів вала кожного ВЦН і густини компримованого газу, що передбачає виконання NL серій з NI періодичних вимірювань параметрів усіх ВЦН газотранспортної системи і формування для кожного k-го ВЦН, кожного i-го виміру ℓ -ої серії вектор вимірювань $X_{k,i,l}$, що включає в себе значення температури на вході і виході ВЦН $T_{вх,k,i,l}$, $T_{вих,k,i,l}$, тиску газу на вході і виході ВЦН $P_{вх,k,i,l}$, $P_{вих,k,i,l}$, частоту обертання вала ВЦН $n_{k,i,l}$ і густину газу $\rho_{k,i,l}$:

$X_{k,i,l} = \{T_{вх,k,i,l}, T_{вих,k,i,l}, P_{вх,k,i,l}, P_{вих,k,i,l}, n_{k,i,l}, \rho_{k,i,l}\}$, згідно з корисною моделлю додатково визначають коефіцієнти технічного стану і теплотехнічні показники ВЦН за кожним КЦ газотранспортної системи і при цьому одночасно в обчислювач визначення фактичних теплотехнічних показників і характеристик ВЦН подають інформацію датчиків агрегатних автоматик цеху та інформацію датчиків цехової автоматики КЦ і потім в обчислювачі формують

вектор вимірювань параметрів цеху $X_{i,l}^{ceh}$, що включають значення температури газу на вході цеху і виході цеху до апаратури повітряного охолодження $T_{вх,i,l}^{ceh}, T_{вих,i,l}^{ceh}$, тиску газу на вході і виході цеху $P_{вх,i,l}^{ceh}, P_{вих,i,l}^{ceh}$, абсолютного тиску атмосферного повітря $P_{a,i,l}$

$X_{i,l}^{ceh} = \{T_{вх,i,l}^{ceh}, T_{вих,i,l}^{ceh}, P_{вх,i,l}^{ceh}, P_{вих,i,l}^{ceh}, P_{a,i,l}\}$, визначають розрахункові значення температури і тиску газу у вхідному і вихідному колекторі цеху $T_{вхs,i,l}^{kol}, T_{вихs,i,l}^{kol}, P_{вхs,i,l}^{kol}, P_{вихs,i,l}^{kol}$, кожної s-ої ступені компримування газу в залежності від схеми підключення ВЦН у КЦ, далі для кожного i-го вимірювання за множиною векторів $\{X_{k,i,l}\} i = \overline{1, NK}$ і

вектором $X_{i,l}^{ceh}$, обчислюють фактичні відхилення $\delta T_{a\delta k,i,l}, \delta T_{a\delta k,i,l}, \delta P_{a\delta k,i,l}, \delta P_{a\delta k,i,l}$ і гранично припустимі відхилення вимірюваних значень температури і тиску газу на вході і виході ВЦН від розрахункових значень температури і тиску газу вхідного і вихідного колекторів $\sigma T_{a\delta k,i,l}, \sigma T_{a\delta k,i,l}, \sigma P_{a\delta k,i,l}, \sigma P_{a\delta k,i,l}$ визначають канали вимірювань параметрів ВЦН із недостовірною інформацією в яких модуль фактичного відхилення перевищує гранично

припустиме значення $|\delta Z_{i,k,l}| > \sigma Z_{i,k,l}$, $Z = (T_{вх}, T_{вих}, P_{вх}, P_{вих})$, формують множину NK розрахункових векторів вимірювань параметрів ВЦН $\{X_{k,i,l}^r\}$

$k = \overline{1, NK}$ $X_{k,i,l}^r = \{T_{вх,k,i,l}^r, T_{вих,k,i,l}^r, P_{вх,k,i,l}^r, P_{вих,k,i,l}^r, n_{k,i,l}^r, \rho_{k,i,l}^r\}$, на основі множини векторів $\{X_{k,i,l}^r\}$ і вектора $X_{i,l}^{ceh}$ з урахуванням відновлення інформації в каналах вимірювань з недостовірною інформацією, далі для кожного k-го ВЦН i-го виміру ℓ -ої серії обчислюють значення зведеного ступеня стиску $\varepsilon_{пр}(X_{k,i,l}^r)$ і політропного

коефіцієнта корисної дії $\eta_{пол}(X_{k,i,l}^r)$ відповідно з політропним методом Шульца, визначають поточне значення узагальненого нормованого дефекту $D_{k,i,l,j}(X_{k,i,l}^r)$ та зведеної об'ємної продуктивності $Q_{пр,k,i,l,j}(X_{k,i,l}^r)$, виходячи з розв'язання системи рівнянь

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

де $\varepsilon_{прk,j}^p(D_j, Q_{пр})$, $\eta_{полk,j}^p(D_j, Q_{пр})$ розрахункові характеристики зведеного ступеня стиску та політропного коефіцієнта корисної дії у функції від виду і величини узагальненого нормованого дефекту D_j $j = \overline{1, ND}$ і зведеної об'ємної продуктивності $Q_{пр}$, далі по закінченню кожної ℓ -ої серії вимірювань розраховують прогнозоване значення величини j-го узагальненого нормованого дефекту на початок $\ell + 1$ серії вимірювань кожного k-го ВЦН $D_{k,0,l,j}$ і фільтрованої швидкості його зміни $VD_{k,i,l,j}^{\Phi}$ за значеннями яких визначають прогнозоване значення узагальненого нормованого дефекту j-го виду $D_{k,i,l+1,j}^r$ на $\ell + 1$ серії

$$D_{k,i,l+1,j}^r = D_{k,0,l,j} + t_{нарк} \cdot VD_{k,i,l,j}^{\Phi},$$

де $t_{нарк}$ - час наробітку k-го ВЦН від початку серії, потім після закінчення NL серій періодичних вимірювань NK агрегатних і цехових автоматик для кожного k-го ВЦН КЦ на основі критерію мінімуму середньоквадратичного відхилення узагальненого нормованого дефекту від його

прогнозованого значення $D_{k,i,l,j}^r$, вибирають вид найбільш ймовірного узагальненого нормованого дефекту с виходячи з умови

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

для $j=1, \dots, c-1, c+1, \dots, ND$, далі шляхом лінійної інтерполяції розрахункових характеристик політропного коефіцієнта корисної дії $\eta_{полk,c}^p(Q_{пр}, D_{k,c})$ і зведеного ступеня стиску

$\varepsilon_{прk,c}^p(Q_{пр}, D_{k,c})$ для обраного виду узагальненого нормованого дефекту та обчисленого значення $D_{k,c}$, $D_{k,c} = D_{k,0,NL,c}$, а також масиву значень зведеної об'ємної продуктивності $\{Q_{прt}\}$, де $t = \overline{1, NT}$ і NT - кількість елементів масиву,

визначають відповідні масиви значень $\{\varepsilon_{\text{прк},i}(Q_{\text{прт}},)\}$, $i \in \{1, \dots, n\}$ на основі яких розраховують апроксимуючі поліноми фактичних характеристик зведеного ступеня стиску $\varepsilon_{\text{прк}}^f(Q_{\text{пр}})$ політропного коефіцієнта корисної дії $\eta_{\text{полк}}^f(Q_{\text{пр}})$ та зведеної внутрішньої відносної потужності $\left[\frac{N}{P}\right]_{\text{прк}}^f(Q_{\text{пр}})$ для всіх НК ВЦН КЦ, визначають коефіцієнти технічного стану ВЦН за потужністю і коефіцієнтом корисної дії

$$K_k^N = \frac{\left[\frac{N}{P}\right]_{\text{прк}}^f(Q_{\text{пр ном}})}{\left[\frac{N}{P}\right]_{\text{прк}}^{\Pi}(Q_{\text{пр ном}})}, \quad K_k^{\eta} = \frac{\eta_{\text{полк}}^f(Q_{\text{пр ном}})}{\eta_{\text{полк}}^{\Pi}(Q_{\text{пр ном}})},$$

де індекс "П" позначає визначення параметра за відповідною паспортною характеристикою, а індекс "ном" - номінальне значення зведеної об'ємної продуктивності ВЦН, і потім після визначення фактичних характеристик ВЦН розраховують його теплотехнічні показники: політропний коефіцієнт корисної дії $\eta_{\text{полк},i} = \eta_{\text{полк}}^f(Q_{\text{прк},i,l})$ потужність

$$N_{k,i} = \left[\frac{N}{P}\right]_{\text{прк}}^f(Q_{\text{прк},i,l}) \cdot P_{\text{вхк},i,l} \cdot \left(\frac{n_{k,i,l}}{n_{\text{ном}}}\right)^3 \quad \text{та}$$

комерційну продуктивність

$$Q_{\text{комк},i} = \frac{0,00144 \cdot (P_{\text{вхк},i,l} + P_{a,i,l}) \cdot T_{\text{ст}} \cdot Q_{\text{прк},i,l} \cdot n_{k,i,l}}{P_{\text{ст}} \cdot T_{\text{вхк},i,l} \cdot Z_{\text{вхк},i,l} \cdot n_{\text{ном}}},$$

де $Q_{\text{прк},i,l}$ - значення зведеної об'ємної продуктивності, розраховане за вектором $X_{k,i,l}^f$ і характеристикою $\varepsilon_{\text{прк}}^f(Q_{\text{пр}})$, а $P_{\text{вхк},i,l}$ і $Z_{\text{вхк},i,l}$ - значення густини газу і відповідно коефіцієнта стискальності газу на вході k-го ВЦН, розраховані за вектором $X_{k,i,l}^f$, $T_{\text{ст}}$, $P_{\text{ст}}$ - значення температури і тиску газу за яких визначають комерційну продуктивність, і далі розраховані фактичні теплотехнічні показники та характеристики візуалізують на засобах відображення інформації і архівують в обчислювачі.

Технічний результат, якого можна досягти при використанні корисної моделі, виражений у тому, що забезпечується підвищення точності та вірогідності визначення теплотехнічних показників та фактичних зведених характеристик ВЦН газотранспортної системи.

Причинно-наслідковий зв'язок між сукупністю ознак корисної моделі і технічним результатом простежується в тому, що нові ознаки: визначення за кожним i-им вимірюванням параметрів усіх працюючих у КЦ ВЦН, а також параметрів КЦ, визначення розрахункових значень тиску і температури газу у вхідному і вихідному колекторах кожного ступеня компримування, обчислення гранично припустимих відхилень вимірюваних значень параметрів ВЦН від цих

розрахункових значень, визначення вірогідності вимірювання параметрів ВЦН за результатами порівняння значень цих гранично припустимих відхилень зі значеннями фактичних відхилень вимірюваних параметрів ВЦН від відповідних розрахункових у колекторах, формування розрахункових значень параметрів ВЦН з урахуванням вірогідності каналів вимірювання, визначення фактичних зведених характеристик разом з обчисленням коефіцієнтів технічного стану і теплотехнічних показників ВЦН, при взаємодії з відомими ознаками, а саме з проведенням послідовних серій періодичних вимірювань параметрів кожного ВЦН, що включають вимірювання тиску і температури газу на вході і виході за ВЦН, та частоти обертання валу ВЦН з використанням статистичної обробки та фільтрації результатів обчислень, вибором виду найбільш ймовірного узагальненого нормованого дефекту на основі критерію мінімуму середньоквадратичного відхилення узагальненого нормованого дефекту від його прогнозованого значення за кожним ВЦН забезпечують прояв нових технічних властивостей, таких як зменшення впливу систематичних і випадкових складових похибок каналів вимірювань з визначення об'ємної продуктивності та узагальненого дефекту проточної частини ВЦН за рахунок використання додаткової інформації з інших ВЦН, що мають загальні вхідні і/або вихідні колектори, виключення з обробки недостовірної інформації, розрахунок коефіцієнтів технічного стану і теплотехнічних показників усіх ВЦН КЦ.

Це дозволяє отримати очікуваний технічний результат, а саме, підвищення точності та вірогідності визначення теплотехнічних показників та фактичних зведених характеристик ВЦН газотранспортної системи оскільки зменшення впливу систематичних і випадкових похибок каналів вимірювання з визначення об'ємної продуктивності та узагальненого дефекту проточної частини ВЦН приводить до підвищення точності визначення теплотехнічних показників та фактичних зведених характеристик ВЦН газотранспортної системи, а виключення з обробки недостовірної інформації приводить до підвищення вірогідності визначення теплотехнічних показників та фактичних зведених характеристик ВЦН газотранспортної системи.

При цьому точність та вірогідність визначення теплотехнічних показників характеристик ВЦН у запропонованому способі забезпечується за рахунок наступних ознак корисної моделі.

1. З метою підвищення точності і вірогідності визначення фактичних характеристик ВЦН одночасно в обчислювач визначення теплотехнічних показників і фактичних характеристик ВЦН подають інформацію датчиків агрегатних автоматик цеху та інформацію датчиків цехової автоматики КЦ і потім в обчислювачі формують вектор вимірювань параметрів цеху $X_{i,l}^{\text{ceh}}$, що включають значення температури газу на вході цеху і виході цеху до апаратури

повітряного охолодження $T_{вх,i,l}^{ceh}, T_{вих,i,l}^{ceh}$ тиску газу на вході і виході цеху $P_{вх,i,l}^{ceh}, P_{вих,i,l}^{ceh}$, абсолютного тиску

атмосферного повітря $P_{a,i,l}$
 $X_{i,l}^{ceh} = \{T_{вх,i,l}^{ceh}, T_{вих,i,l}^{ceh}, P_{вх,i,l}^{ceh}, P_{вих,i,l}^{ceh}, P_{a,i,l}\}$,
 Використання вектора вимірювань $X_{i,l}^{ceh}$ дозволяє розширити склад вимірювань таких параметрів як тиску і температури газу.

Розширення складу вимірюваних параметрів за рахунок надмірності дозволяє зменшити вплив систематичних і випадкових похибок каналів вимірювання.

2. Істотне збільшення вірогідності результатів оцінки фактичних теплотехнічних показників і характеристик ВЦН досягається за рахунок встановлення взаємозв'язку між значеннями температур і тисків газу на входах і виходах ВЦН КЦ. Цей взаємозв'язок фізичним образом існує внаслідок наявності вхідних і вихідних колекторів КЦ за кожним ступенем компримування. Тому в запропонованому способі визначають розрахункові значення температури і тиску газу у вхідному і вихідному колекторі цеху

$T_{вх,s,i,l}^{kol}, T_{вих,s,i,l}^{kol}, P_{вх,s,i,l}^{kol}, P_{вих,s,i,l}^{kol}$ кожної s-ої ступені компримування газу в залежності від схеми підключення ВЦН у КЦ.

Урахування схеми підключення ВЦН у КЦ дозволяє для кожного ВЦН порівняти вимірювані параметри з відповідними розрахунковими в колекторах. Для кожного i-го вимірювання за

множиною векторів $\{X_{k,i,l}\}$ $i = \overline{1, NK}$ і вектором $X_{i,l}^{ceh}$, обчислюють фактичні відхилення

$\delta T_{вх,k,i,l}, \delta T_{вих,k,i,l}, \delta P_{вх}, \delta P_{вих,k,i,l}$ і гранично припустимі відхилення вимірюваних значень температури і тиску газу на вході і виході ВЦН від розрахункових значень температури і тиску газу вхідного і вихідного колекторів $\sigma T_{\delta\delta k,i,l}, \sigma T_{\delta\delta\delta k,i,l}, \sigma P_{\delta\delta k,i,l}, \sigma P_{\delta\delta\delta k,i,l}$. За

результатами порівняння фактичних відхилень з гранично припустимими визначають канали вимірювання параметрів ВЦН із недостовірною інформацією в яких модуль фактичного відхилення перевищує гранично припустиме

значення $|\delta Z_{i,k,l}| > \sigma Z_{i,k,l}$, $Z = (T_{вх}, T_{вих}, P_{вх}, P_{вих})$. Визначення недостовірної інформації та її усунення з розрахунків істотно підвищує точність і вірогідність результатів оцінки фактичного функціонально-технічного стану ВЦН.

3. Визначення теплотехнічних показників і фактичних характеристик кожного k-го ВЦН при i-ому вимірюванні за всією сукупністю вимірювань агрегатних і цехових автоматик забезпечує можливість уточнення інформації каналів вимірювання його параметрів або відновлення інформації каналів з недостовірною інформацією за інформацією каналів вимірювань інших NK-1 ВЦН КЦ. З цією метою формують множину NK

розрахункових векторів вимірювання параметрів ВЦН $\{X_{k,i,l}^r\}$ $k = \overline{1, NK}$ $X_{k,i,l}^r = \{T_{вх,k,i,l}^r, T_{вих,k,i,l}^r, P_{вх,k,i,l}^r, P_{вих,k,i,l}^r, P_{a,i,l}^r\}$, на основі множини векторів

$\{X_{k,i,l}\}$ і вектора $X_{i,l}^{ceh}$ з урахуванням відновлення інформації в каналах вимірювання з недостовірною інформацією.

Вибір найбільш ймовірного узагальненого дефекту проточної частини кожного k-го ВЦН на основі множини розрахункових векторів вимірювань $\{X_{k,i,l}^r\}$, $i = \overline{1, NI}$, $\ell = \overline{1, NL}$, виходячи з рішення системи рівнянь

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

без використання інформації про перепад тиску на звужуючому пристрої ВЦН і припущень про характер зміни його фактичних характеристик відносно паспортних є одним з головних факторів, що забезпечує максимальну точність визначення теплотехнічних показників і характеристик ВЦН.

4. Розрахунок фактичних характеристик ВЦН за зведеним ступенем стиску, політропним коефіцієнтом корисної дії і зведеною внутрішньою відносною потужністю дозволяє визначити необхідні коефіцієнти технічного стану кожного ВЦН і його теплотехнічні показники. Так визначають коефіцієнти технічного стану ВЦН за потужністю і коефіцієнтом корисної дії

$$K_k^N = \frac{\left[\frac{N}{P}\right]_{npk}^f(Q_{np\text{ ном}})}{\left[\frac{N}{P}\right]_{npk}^{\Pi}(Q_{np\text{ ном}})}, \quad K_k^{\eta} = \frac{\eta_{полк}^f(Q_{np\text{ ном}})}{\eta_{полк}^{\Pi}(Q_{np\text{ ном}})},$$

і зберігають його теплотехнічні показники: політропний коефіцієнт корисної дії $\eta_{полк,i} = \eta_{полк}^f(Q_{npk,i,l})$, потужність

$$N_{k,i} = \left[\frac{N}{P}\right]_{npk}^f(Q_{npk,i,l}) \cdot P_{вх,k,i,l} \cdot \left(\frac{n_{k,i,l}}{n_{ном}}\right)^3$$

і комерційну продуктивність

$$Q_{комk,i} = \frac{0,00144 \cdot (P_{вх,k,i,l} + P_{a,i,l}) \cdot T_{st} \cdot Q_{npk,i,l} \cdot n_{k,i,l}}{P_{st} \cdot T_{вх,k,i,l} \cdot Z_{вх,k,i,l} \cdot n_{ном}}$$

Спосіб визначення теплотехнічних показників і фактичних характеристик ВЦН кожного КЦ за інформацією всіх каналів вимірювання агрегатних і цехових автоматик на основі обчислення узагальнених нормованих дефектів їхніх проточних частин є уніфікованим способом для всіх експлуатованих типів ВЦН газотранспортної системи.

На кресленнях наведені:

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

Фіг.2 - схема послідовності дій запропонованого способу;

Фіг.3 - схема модуля обробки серії векторів вимірювань та розрахунку теплотехнічних

показників ВЦН.

Система, що реалізує запропонований спосіб, містить датчики агрегатної автоматики НК ВЦН КЦ 1, блок обробки вхідної інформації і формування множини векторів вимірювань $\{X_{k,i,l}\}$ $k = \overline{1, NK}$ 2, блок визначення тиску і температури газу у вхідному і вихідному колекторах кожної ступені компримування газу 3, блок визначення каналів вимірювання з недостовірною інформацією 4, блок формування множин розрахункових векторів вимірювання параметрів ВЦН $\{X_{k,i,l}^r\}$ $k = \overline{1, NK}$ 5, датчики цехової автоматики 6, блок обробки вхідної інформації і формування вектора

параметрів цеху $X_{i,l}^{ceh}$ 7, стенди визначення впливу дефектів проточних частин ВЦН на їхні фактичні характеристики 8, модуль визначення розрахункових характеристик ВЦН $\{e_{prk,j}^p(D_j, Q_{pr})\}$, $\{\eta_{полк,j}^j(D_j, Q_{pr})\}$, $k = \overline{1, NK}$, $j = \overline{1, NJ}$

9, блок визначення поточних значень $\{Q_{prk,i,l,j}\}$ і $\{D_{k,i,k,j}\}$ 10, блок розрахунку коефіцієнтів стиску і поправок до коефіцієнтів теплоємності 11, модуль узгодження паспортних характеристик на основі використовуваної газодинамічної моделі 12, блок

розрахунку прогнозованих значень $\{D_{k,i,l,j}^p\}$ 13, блок визначення найбільш ймовірного виду узагальненого дефекту $\{D_{k,c}\}$ 14, блок розрахунку

теплотехнічних показників ВЦН $\{\eta_{полк,i}^j\}$, $\{N_{k,j}\}$ і $\{Q_{ком k,i}\}$ 15, блок розрахунку коефіцієнтів технічного стану ВЦН за потужністю $\{K_k^N\}$ і за ККД $\{K_k^{\eta}\}$ 16, блок розрахунку фактичних характеристик ВЦН $\{e_{prk}^f(Q_{pr})\}$, $\{\eta_{полк}^f(Q_{pr})\}$,

$\{N_{prk}^f(Q_{pr})\}$ 17, блок візуалізації та архівування 18 (Фіг.1).

Датчики агрегатної автоматики НК ВЦН КЦ 1 забезпечують періодичні вимірювання значення температури газу на вході і виході кожного ВЦН $T_{вхк,i,l}$, $T_{вихк,i,l}$, тиску газу на вході і виході ВЦН $P_{вхк,i,l}$, $P_{вихк,i,l}$, частоти обертання валу ВЦН $n_{k,i,l}$ та густини газу $\rho_{k,i,l}$.

Блок обробки вхідної інформації і формування множини векторів вимірювань $\{X_{k,i,l}\}$ 2 призначений для зчитування, аналізу вірогідності, відновлення недостовірної, фільтрації інформації датчиків агрегатної автоматики та для формування множини векторів вимірювань $\{X_{k,i,l}\}$, $k = \overline{1, NK}$,

$$X_{k,i,l} = \{T_{вхк,i,l}, T_{вихк,i,l}, P_{вхк,i,l}, P_{вихк,i,l}, n_{k,i,l}, \rho_{k,i,l}\},$$

Блок визначення тиску і температури газу у вхідному і вихідному колекторах кожної ступені компримування газу 3 призначений для обчислення для кожного i-го вимірювання ℓ -ої серії розрахункових значень температури газу у вхідному і вихідному колекторі цеху

$\{T_{вхс,i,l}^{kol}\}$, $\{T_{вихс,i,l}^{kol}\}$, $\{P_{вхс,i,l}^{kol}\}$, $\{P_{вихс,i,l}^{kol}\}$ кожної s-ої ступені компримування газу в залежності від схеми підключення ВЦН у КЦ;

Блок визначення каналів вимірювання з недостовірною інформацією 4 призначений для обчислення по кожному i-му виміру ℓ -ої серії за

множиною векторів $\{X_{k,i,l}\}$ $i = \overline{1, NK}$ і вектором фактичних відхилень $X_{i,l}^{ceh}$

$\delta T_{a\delta k,i,l}$, $\delta T_{a\delta k,i,l}$, $\delta P_{a\delta k,i,l}$, $\delta P_{a\delta k,i,l}$ і гранично припустимих відхилень вимірюваних значень температури і тиску газу на вході і виході ВЦН від розрахункових значень температури і тиску газу вхідного і вихідного колекторів $\sigma T_{a\delta k,i,l}$, $\sigma T_{a\delta k,i,l}$, $\sigma P_{a\delta k,i,l}$, $\sigma P_{a\delta k,i,l}$, визначення каналів вимірювання параметрів ВЦН із недостовірною інформацією в яких модуль фактичного відхилення перевищує гранично

припустиме значення $|\delta Z_{i,k,l}| > \sigma Z_{i,k,l}$, $Z = (T_{вх}, T_{вих}, P_{вх}, P_{вих})$.

Блок формування множини розрахункових векторів вимірювання параметрів ВЦН $X_{k,i,l}^r$ 5 призначений для формування множини НК розрахункових векторів вимірювання параметрів

ВЦН $X_{k,i,l}^r = \{T_{вхк,i,l}^r, T_{вихк,i,l}^r, P_{вхк,i,l}^r, P_{вихк,i,l}^r, n_{k,i,l}, \rho_{k,i,l}\}$, $k = \overline{1, NK}$ на основі множини векторів $\{X_{k,i,l}\}$ і

вектора $X_{i,l}^{ceh}$ з урахуванням відновлення інформації в каналах вимірювання з недостовірною інформацією.

Датчики цехової автоматики 6 забезпечують періодичні вимірювання значення температури газу на вході і виході КЦ до апаратури повітряного

охолодження $T_{вхi,l}^{ceh}$, $T_{вихi,l}^{ceh}$, тиску газу на вході і виході цеху $P_{вхi,l}^{ceh}$, $P_{вихi,l}^{ceh}$.

Блок обробки вхідної інформації і формування

вектора параметрів цеху $X_{i,l}^{ceh}$ 7 призначений для зчитування, аналізу вірогідності, відновлення недостовірної, фільтрації інформації цехової автоматики і для формування вектора параметрів

цеху $X_{i,l}^{ceh}$.

Стенди визначення впливу дефектів проточних частин ВЦН на їхні фактичні характеристики 8 забезпечують можливість експериментального визначення фактичних характеристик ВЦН з різними видами дефектів у їхній проточній частині.

Модуль визначення розрахункових характеристик ВЦН 9 призначений для визначення розрахункових зведеної характеристики ступеня стиску та політропного ККД функції від зведеної об'ємної продуктивності та величин і видів узагальнених нормованих дефектів.

Блок визначення поточних значень $Q_{prk,i,l,j}$, $D_{k,i,l,j}$ 10 призначений для розрахунку зведеного

ступеня стиску $\varepsilon_{\text{пр}}(X_{k,i,l}^r)$ та політропного

коефіцієнта корисної дії $\eta_{\text{пол}}(X_{k,i,l}^r)$ за розрахунковим вектором вимірювання $X_{k,i,l}^r$, знаходження поточних значень $Q_{\text{пр},i,l,j}$, та $D_{k,i,l,j}$ на основі розрахункових характеристик за знайденим значенням $\varepsilon_{\text{пр},k}(X_{k,i,l}^r)$ та $\eta_{\text{пол},k}(X_{k,i,l}^r)$ шляхом рішення системи рівнянь та формування множини значень зведеної об'ємної продуктивності $\{Q_{\text{пр},i,l,j}\}$, $i = \overline{1, NI}$, $j = \overline{1, ND}$, $k = \overline{1, NK}$, $l = \overline{1, NL}$, та множини значень узагальненого нормованого дефекту $\{D_{k,i,l,j}\}$, $i = \overline{1, NI}$, $j = \overline{1, ND}$, $k = \overline{1, NK}$, $l = \overline{1, NL}$.

Блок розрахунку коефіцієнтів стискальності та поправок до теплоємності 11 призначений для розрахунку коефіцієнтів стискальності, коефіцієнтів ізобаричної стискальності, поправок до теплоємності на основі модифікованого рівняння стану Бенедикта-Вебба-Рабіна.

Модуль узгодження паспортних характеристик ВЦН на основі використовуваної газодинамічної моделі стиску газу 12 призначений для уточнення положення однієї з трьох паспортних характеристик за двома іншими характеристиками на основі модифікованого рівняння стану Бенедикта-Вебба-Рабіна та визначення показників процесу стиску газу за допомогою політропного метода Шульца.

Блок розрахунку прогнозованих значень $D_{k,i,l,j}^r$ 13 призначений для визначення значень узагальнених нормованих дефектів $\{D_{k,0,k,j}\}$, $j = \overline{1, ND}$ та значень швидкості їхнього збільшення $\{VD_{k,i,l,j}\}$, $j = \overline{1, ND}$ на момент початку ℓ -ої серії вимірювань за результатами розрахунку значень цих дефектів на попередній серії вимірювань, обчислення фільтрованих значень швидкості збільшення дефектів $\{VD_{k,i,l,j}^{\Phi}\}$, $j = \overline{1, ND}$ та обчислення поточних прогнозованих значень узагальнених нормованих дефектів $\{D_{k,i,l,j}^r\}$.

Блок визначення найбільш ймовірного виду узагальненого нормованого дефекту ВЦН $D_{k,c}$ 14 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 теплотехнічних показників ВЦН $\{\eta_{\text{пол},k}\}$, $\{N_{k,i}\}$, $\{Q_{\text{ком},k,i}\}$, $k = \overline{1, NK}$, 15 призначений для обчислення теплотехнічних показників НК ВЦН, що відповідають і-ому вимірюванню на основі фактичних зведених характеристик ВЦН.

Блок розрахунку коефіцієнтів технічного стану ВЦН за потужністю $\{K_k^N\}$ і ККД $\{K_k^{\eta}\}$ 16 призначений для обчислення коефіцієнтів технічного стану ВЦН КЦ на основі їх фактичних зведених характеристик.

Блок розрахунку фактичних зведених характеристик НК ВЦН 17 призначений для їх

визначення на основі вибору найбільш ймовірного виду узагальненого нормованого дефекту $D_{k,c}$ та

розрахункових характеристик $\varepsilon_{\text{пр},k,c}(Q_{\text{пр}}, D_{k,c})$, $\eta_{\text{пол},k,c}(Q_{\text{пр}}, D_{k,c})$.

Блок візуалізації та архівування 18 призначений для візуалізації та архівування поточної вхідної інформації та результатів розрахунку фактичних характеристик, коефіцієнтів технічного стану і теплотехнічних показників ВЦН газотранспортної системи.

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

Дії по знаходженню теплотехнічних показників та фактичних характеристик ВЦН газотранспортної системи за інформацією цехової та агрегатних автоматик розподіляються на дії, які виконуються одноразово та періодичні дії.

За кожним типом ВЦН одноразово виконують наступні дії:

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

- визначають розрахункові характеристики ВЦН.

Необхідність узгодження паспортних характеристик, реалізована в модулі 12, диктується тим, що усі використовувані характеристики ВЦН у способі, що заявляється: паспортні, розрахункові, фактичні повинні ґрунтуватися на єдиному рівнянні стану природного газу і на єдиному методі визначення показників процесу стиску газу в ВЦН. Без узгодження паспортних характеристик ВЦН зростає методична похибка 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 метода Шульца визначення показників процесу стиску газу в ВЦН:

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

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

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

Розрахункові характеристики ВЦН визначають на основі стендових випробовувань 8 та теоретичних досліджень зміни фактичних характеристик ВЦН для різних видів та величин дефектів проточної частини. За отриманими даними вказаних випробовувань та досліджень у модулі 9 визначають множини розрахункових характеристик політропного коефіцієнта корисної

дії $\eta_{\text{пол}}^p$ та зведеного ступеня стиску $\varepsilon_{\text{пр}}^p$ функції від зведеної об'ємної продуктивності $Q_{\text{пр}}$ та величини та виду узагальненого нормованого

дефекту $D_{k,j}$,

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

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

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

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

Також у модулі 9 знаходять номінальний об'ємний показник політропи функції від об'ємної зведеної продуктивності $m_{V_n}(Q_{\text{пр}})$.

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 NL -ої серії вимірювань визначають фактичні зведені характеристики і коефіцієнти технічного стану ВЦН (Фіг.2).

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

За допомогою блоку обробки вхідної інформації і формування вектора вимірювань $X_{k,i,l}$ 2 з датчиків агрегатних автоматик NK ВЦН КЦ періодично зчитують наступну інформацію: температуру газу на вході та виході ВЦН $T_{\text{вхк},i,l}$, $T_{\text{вихк},i,l}$, тиск газу на вході і виході ВЦН $P_{\text{вхк},i,l}$, $P_{\text{вихк},i,l}$, частоту обертання вала ВЦН $n_{k,i,l}$ та густину газу

$\rho_{k,i,l}$. Цю інформацію аналізують на достовірність, відновлюють недостовірну та фільтрують з відповідних датчиків агрегатних автоматик. Формують вектор вимірювань $X_{k,i,l}$

$$X_{k,i,l} = \{T_{\text{вхк},i,l}, T_{\text{вихк},i,l}, P_{\text{вхк},i,l}, P_{\text{вихк},i,l}, n_{k,i,l}, \rho_{k,i,l}\}.$$

Аналогічно, за допомогою блоку обробки вхідної інформації і формування вектора

вимірювань параметра цеху $X_{i,l}^{\text{ceh}}$ 7 з датчиків цехової автоматики 6 періодично зчитують значення температури газу на вході цеху і виході цеху до апаратури повітряного охолодження

$T_{\text{вхi},l}^{\text{ceh}}, T_{\text{вихi},l}^{\text{ceh}}$ тиску газу на вході і виході цеху

$P_{\text{вхi},l}^{\text{ceh}}, P_{\text{вихi},l}^{\text{ceh}}$ абсолютного тиску атмосферного

повітря $P_{a,i,l}$.

Цю інформацію аналізують на вірогідність, відновлюють недостовірну і фільтрують з відповідних датчиків цехової автоматики. Формують вектор вимірювань параметрів цеху

$$X_{i,l}^{\text{ceh}} = \{T_{\text{вхi},l}^{\text{ceh}}, T_{\text{вихi},l}^{\text{ceh}}, P_{\text{вхi},l}^{\text{ceh}}, P_{\text{вихi},l}^{\text{ceh}}, P_{a,i,l}\},$$

Потім у блоці визначення тиску і температури

газу у вхідному і вихідному колекторах кожної ступені компримування газу 3 у залежності від схеми підключення ВЦН у КЦ за векторами $\{X_{k,i,l}\}$,

$k=1, NK$ і $X_{i,l}^{\text{ceh}}$ обчислюють відповідні значення температури і тиску газу в колекторах $T_{\text{вхs},i,l}^{\text{kol}}, T_{\text{вихs},i,l}^{\text{kol}}, P_{\text{вхs},i,l}^{\text{kol}}, P_{\text{вихs},i,l}^{\text{kol}}$. Для паралельної схеми підключення ВЦН ці значення дорівнюють:

$$T_{\text{аòs},i,l}^{\text{kol}} = \frac{\left(T_{\text{аòi},l}^{\text{ceh}} + \sum_{k=1}^{NK} a_{k,i,l} \cdot T_{\text{аòk},i,l} \right)}{\left(\sum_{k=1}^{NK} a_{k,i,l} + 1 \right)},$$

$$T_{\text{аèòs},i,l}^{\text{kol}} = \frac{\left(T_{\text{аèòi},l}^{\text{ceh}} + \sum_{k=1}^{NK} a_{k,i,l} \cdot T_{\text{аèòk},i,l} \right)}{\left(\sum_{k=1}^{NK} a_{k,i,l} + 1 \right)},$$

$$P_{\text{аòs},i,l}^{\text{kol}} = \frac{P_{\text{аòi},l}^{\text{ceh}} - \Delta P_{\text{аòi},l}^{\text{ceh}} + \sum_{k=1}^{NK} a_{k,i,l} (P_{\text{аòk},i,l} + \Delta P_{\text{аòk},i,l})}{\sum_{k=1}^{NK} a_{k,i,l} + 1},$$

$$P_{\text{аèòs},i,l}^{\text{kol}} = \frac{P_{\text{аèòi},l}^{\text{ceh}} - \Delta P_{\text{аèòi},l}^{\text{ceh}} + \sum_{k=1}^{NK} a_{k,i,l} (P_{\text{аèòk},i,l} + \Delta P_{\text{аèòk},i,l})}{\sum_{k=1}^{NK} a_{k,i,l} + 1},$$

де $a_{k,i,l}$ - ознака роботи k -го ВЦН при i -ом вимірюванні ℓ -ої серії на магістраль. Значення $a_{k,i,l}=1$, якщо ВЦН працював і $a_{k,i,l}=0$ у протилежному випадку.

$\Delta P_{\text{вхi},l}^{\text{ceh}}, \Delta P_{\text{вихi},l}^{\text{ceh}}$ - оцінки втрат тиску газу між точкою вимірювання тиску цеху і тиском у відповідному колекторі;

$\Delta P_{\text{вхk},i,l}^{\text{ceh}}$, - оцінки втрат тиску газу між тиском газу у вхідному колекторі і тиском на вході в k -ий ВЦН.

$\Delta P_{\text{вихk},i,l}^{\text{ceh}}$ - оцінки втрат тиску газу між тиском газу у вихідному колекторі і тиском на виході k -го ВЦН.

У випадку інших можливих схем підключення в наведених виразах сумування виконують тільки за підключеними до колектора ВЦН, і цехові параметри сумують тільки при визначенні параметрів газу у вхідному і вихідному колекторах цеху.

Розраховані значення температури і тиску газу в колекторах використовують в блоці визначення каналів вимірювання з недостовірною інформацією для обчислення за безліччю векторів

$\{X_{k,i,l}\}$ $i = \overline{1, NK}$ і вектором $X_{i,l}^{\text{ceh}}$ фактичних відхилень $\delta T_{\text{аòk},i,l}, \delta T_{\text{аèòk},i,l}, \delta P_{\text{аòk},i,l}, \delta P_{\text{аèòk},i,l}$ і гранично припустимих відхилень вимірюваних значень температури і тиску газу на вході і виході

ВЦН від розрахункових значень температури і тиску газу відповідних вхідних і вихідних колекторів $\sigma T_{\Delta\delta k,i,l}, \sigma T_{\Delta\epsilon\delta k,i,l}, \sigma P_{\Delta\delta k,i,l}, \sigma P_{\Delta\epsilon\delta k,i,l}$.

Фактичні відхилення параметрів k-го ВЦН $\delta T_{\Delta\delta k,i,l}, \delta T_{\Delta\epsilon\delta k,i,l}, \delta P_{\Delta\delta k,i,l}, \delta P_{\Delta\epsilon\delta k,i,l}$ s-ої ступені компримування газу від відповідних розрахункових у колекторі визначають як:

$$\begin{aligned}\delta T_{\text{вхк},i,l} &= T_{\text{вхк},i,l} - T_{\text{вхс},i,l}^{\text{kol}}; \\ \delta T_{\text{вихк},i,l} &= T_{\text{вихк},i,l} - T_{\text{вихс},i,l}^{\text{kol}}; \\ \delta P_{\text{вхк},i,l} &= P_{\text{вхк},i,l} + \Delta P_{\text{вхк},i,l} - P_{\text{вхс},i,l}^{\text{kol}}; \\ \delta P_{\text{вихк},i,l} &= P_{\text{вихк},i,l} + \Delta P_{\text{вихк},i,l} - P_{\text{вихс},i,l}^{\text{kol}}\end{aligned}$$

Відповідні гранично припустимі відхилення параметрів $\sigma T_{\Delta\delta k,i,l}, \sigma T_{\Delta\epsilon\delta k,i,l}, \sigma P_{\Delta\delta k,i,l}, \sigma P_{\Delta\epsilon\delta k,i,l}$ визначаються граничними похибками каналів вимірювання параметрів ВЦН, і додатково для тиску газу, граничною похибкою оцінок втрат тиску газу між колекторами і входом (виходом) ВЦН. При порівнянні фактичних відхилень з відповідними граничними можливі наступні ситуації:

1. Для всіх ВЦН по кожному з параметрів Z виконується умова $|\delta Z_{k,i,l}| \leq \sigma Z_{k,i,l}$,

У цьому випадку інформація всіх каналів вимірювання параметрів ВЦН достовірна.

2. По одному з параметрів Z для одного k-го ВЦН s-ої ступені компримування газу виконується умова $|\delta Z_{k,i,l}| > \sigma Z_{k,i,l}$. У цьому випадку роблять висновок про невірність інформації каналу вимірювання параметра Z k-го ВЦН та уточнюють значення параметра Z у колекторі s-ої ступені компримування газу шляхом виключення недостовірної інформації.

3. По одному з параметрів Z для двох і більш ВЦН s-ої ступені компримування газу виконується

умова $|\delta Z_{k,i,l}| > \sigma Z_{k,i,l}$. У цьому випадку визначають ВЦН k, у якого максимальне по величині фактичне відхилення $|\delta Z_{k,i,l}| = \max$.

Роблять висновок про невірність інформації каналу вимірювання параметра Z для цього k-го ВЦН та уточнюють значення параметра Z у колекторі s-ої ступені компримування шляхом виключення недостовірної інформації з цього ВЦН. Потім обчислюють уточнені фактичні відхилення параметрів відповідно до (2) і повторюють дану процедуру порівняння.

У наступному блоці обчислень 5 формують множину розрахункових векторів вимірювання параметрів ВЦН $\{X_{k,i,l}^r\}$ $i = \overline{1, NK}$ на основі вірогідності інформації каналів вимірювання параметрів ВЦН i, у загальному випадку, уточненої інформації про розрахункові значення температури і тиску газу в колекторах. Логіка формування розрахункових векторів вимірювання параметрів $X_{k,i,l}^r = \{T_{\text{вхк},i,l}^r, T_{\text{вихк},i,l}^r, P_{\text{вхк},i,l}^r, P_{\text{вихк},i,l}^r, \rho_{k,i,l}\}$ для всіх ВДН однакова:

$T_{\text{вхк},i,l}^r$ безумовно присвоюється значення

$$T_{\text{вхс},i,l}^{\text{kol}};$$

$T_{\text{вихк},i,l}^r$ дорівнює $T_{\text{вихк},i,l}$, у випадку достовірної інформації або дорівнює $T_{\text{вихс},i,l}^{\text{kol}}$ в протилежному випадку;

$P_{\text{вхк},i,l}^r$ дорівнює $P_{\text{вхк},i,l}$ випадку достовірної інформації або дорівнює

$(P_{\text{вхк},i,l}^{\text{kol}} - \Delta P_{\text{вхк},i,l})$ у протилежному випадку;

$P_{\text{вихк},i,l}^r$ дорівнює $P_{\text{вихк},i,l}$ у випадку достовірної інформації або дорівнює $(P_{\text{вихк},i,l}^{\text{kol}} - \Delta P_{\text{вихк},i,l})$ у протилежному випадку.

Далі в циклі за кожним ВЦН виконують наступні дії.

У блоці розрахунку коефіцієнтів стискальності та поправок до теплоємності 11 розраховують коефіцієнти стискальності на вході та виході ВЦН $Z_{\text{вхк},i,l}, Z_{\text{вихк},i,l}$, середній коефіцієнт стискальності $Z_{\text{серк},i,l}$, середній коефіцієнт ізобаричної стискальності $V_{\text{сер}}$, середнє значення теплоємності газу $C_{\text{рсер}}$ на основі модифікованого рівняння стану Бенедикта-Вебба-Рабіна. З урахуванням розрахованих значень коефіцієнтів стискальності та теплоємності обчислюють політропний напір $H_n(X_{k,i,l}^r)$ та об'ємний і температурний показники політропи $m_V(X_{k,i,l}^r), m_T(X_{k,i,l}^r)$

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

$$H_n(X_{k,i,l}^r) = \frac{Z_{\Delta\delta k,i,l} \cdot R \cdot T_{\Delta\delta k,i,l}}{m_V(X_{k,i,l}^r)} \left(\left(\frac{P_{\Delta\epsilon\delta k,i,l}^r}{P_{\Delta\delta k,i,l}^r} \right)^{m_V(X_{k,i,l}^r)} - 1 \right),$$

[Дж/кг];

$$m_V(X_{k,i,l}^r) = \lg \left(\frac{Z_{\text{вихк},i,l} \cdot T_{\text{вихк},i,l}^r}{Z_{\text{вхк},i,l} \cdot T_{\text{вхк},i,l}^r} \right) / \lg \left(\frac{P_{\text{вихк},i,l}^r}{P_{\text{вхк},i,l}^r} \right);$$

$$m_T(X_{k,i,l}^r) = \lg \left(\frac{T_{\text{вихк},i,l}^r}{T_{\text{вхк},i,l}^r} \right) / \lg \left(\frac{P_{\text{вихк},i,l}^r}{P_{\text{вхк},i,l}^r} \right);$$

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

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

Розраховують значення об'ємної зведеної продуктивності $Q_{\text{пр}}^s$ для обчислення об'ємного

номінального показника політропи $m_{V_n}(Q_{\text{пр}})$ як середнє значення мінімального $Q_{\text{пр min}}$ та максимального значень $Q_{\text{пр max}}$ зведеної об'ємної продуктивності. Номінальний об'ємний показник політропи $m_{V_n}(Q_{\text{пр}})$ для $Q_{\text{пр}} = Q_{\text{пр}}^s$ розраховують шляхом лінійної інтерполяції.

У блоці визначення поточних значень $Q_{\text{прк},i,l,j}$, $D_{k,i,l,j}$ 10 розраховують значення зведеного ступеня

стиску $\varepsilon_{\text{пр}}(X_{k,i,l}^r)$ та політропного коефіцієнта

корисної дії $\eta_{\text{пол}}(X_{k,i,l}^r)$ відповідно до політропного

методу Шульца для розрахункового вектора вимірювань $(X_{k,i,l}^r)$ за формулами:

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

$$\eta_{\text{пол}}(X_{k,i,l}^r) = \left(\frac{Z_{\text{сері}} \cdot R}{C_{\text{рсері}} - Z_{\text{сері}} \cdot R \cdot V_{\text{сері}} \cdot m_T^{-1}(X_{k,i,l}^r)} \right)^{-1} \cdot \frac{1}{m_T(X_{k,i,l}^r)}$$

1

Значення $D_{k,i,l,j}$, $Q_{\text{прк},i,l,j}$ знаходять з рішення наступної системи рівнянь:

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

За умови коли абсолютна величина різниці між $Q_{\text{пр}}^s$ та $Q_{\text{прк},i,l,j}$ більше заданої константи Q_c значенню $Q_{\text{пр}}^s$ надають значення $Q_{\text{прк},i,l,j}$ та повторюють дії, починаючи з розрахунку об'ємного номінального показника політропи. В іншому випадку визначають множину значень зведеної об'ємної продуктивності $\{Q_{\text{прк},i,l,j}\}$, $k = \overline{1, NK}$, $i = \overline{1, NI}$, $l = \overline{1, NL}$, $j = \overline{1, ND}$, та множину значень узагальненого нормованого дефекту $\{D_{k,i,l,j}\}$, $k = \overline{1, NK}$, $i = \overline{1, NI}$, $l = \overline{1, NL}$, $j = \overline{1, ND}$.

Вище вказані дії повторюють для всіх видів узагальненого нормованого дефекту $\{D_{ij}\}$, $j = \overline{1, ND}$ та для кожного i -го, $i = \overline{1, NI}$, вимірювання з серії.

По закінченні $(\ell - 1)$ -ої серії вимірювань у блоці 13 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 -ої серії вимірювань, виходячи з рішення наступної системи рівнянь

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

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

де

З метою зменшення впливу похибок датчиків агрегатної автоматики на розрахунок прогнозованих значень узагальнених нормованих дефектів $\{D_{k,i,l,j}^r\}$ обчислення швидкості фільтрують за допомогою фільтра першого порядку, $VD_{k,l,j} = b_1 \cdot VD_{k,l,j}^{\Phi} + b_0 \cdot VD_{k,l-1,j}^{\Phi}$, де b_1 , b_0 - коефіцієнти фільтра.

Прогнозовані значення $D_{k,i,l,j}^r$ розраховують виходячи з пропорційного збільшення узагальненого нормованого дефекту у функції від часу його наробітку $t_{\text{нар}}$, вимірюваного від початку серії, за допомогою виразу

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

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 ВЦП $D_{k,c}$ 14 за обчисленою множиною значень $\{D_{k,i,l,j}\}$, $k = \overline{1, NK}$, $i = \overline{1, NI}$, $l = \overline{1, NL}$, $j = \overline{1, ND}$ на основі критерію мінімуму величини середньоквадратичного відхилення узагальненого нормованого дефекту від його прогнозованого значення $D_{k,i,l,j}^r$ вибирають найбільш імовірний узагальнений нормований дефект $D_{k,c}$

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

для $j = 1, \dots, c-1, c+1, \dots, ND$.

Фактичні зведені характеристики k -го ВЦН

$\varepsilon_{\text{прк}}^f(Q_{\text{пр}})$, $\eta_{\text{полк}}^f(Q_{\text{пр}})$ визначають у блоці 17 шляхом лінійної інтерполяції розрахункових характеристик обраного виду узагальненого нормованого дефекту c політропного коефіцієнта

корисної дії $\eta_{\text{полк}}^f(Q_{\text{пр}}) = \eta_{\text{полк},c}^p(Q_{\text{пр}}, D_{k,c})$ та зведеного ступеня стиску

$\varepsilon_{\text{прк}}^f(Q_{\text{пр}}) = \varepsilon_{\text{прк},c}^p(Q_{\text{пр}}, D_{k,c})$, при $D_{k,c} = D_{k,0,NL,c}$.

Для визначення фактичних зведеної витратно-

напірної $\varepsilon_{\text{прк}}^f(Q_{\text{пр}})$ політропного ККД $\eta_{\text{полк}}^f(Q_{\text{пр}})$ та зведеної внутрішньої відносної потужності

$[N/P]_{\text{прк}}^f(Q_{\text{пр}})$ характеристик у вигляді

апроксимуючих поліномів необхідного ступеня діапазон зведеної об'ємної продуктивності від мінімального значення $Q_{\text{пр mink}}$ до максимального $Q_{\text{пр maxk}}$ розбивають на рівні відрізки та формують множину значень зведеної об'ємної продуктивності

$\{Q_{\text{пр}t}\}$, де $t = \overline{1, NT}$ та NT - кількість елементів масиву. За фактичними характеристиками

$\varepsilon_{\text{прк}}^f(Q_{\text{пр}})$ та $\eta_{\text{полк}}^f(Q_{\text{пр}})$ для сформованої

множини значень $\{Q_{\text{пр}t}\}$ визначають відповідно масиви значень $\{\varepsilon_{\text{прк},t}\}$ та $\{\eta_{\text{полк},t}\}$, $t = \overline{1, NT}$ на

основі яких розраховують апроксимуючі поліноми відповідно фактичних витратно-напірної та політропного ККД характеристик. Апроксимуючий поліном фактичної характеристики зведеної

внутрішньої відносної потужності $[N/P]_{\text{пр}}^f(Q_{\text{пр}})$

розраховують за масивами значень $\{\varepsilon_{\text{прк},t}\}$ та

$\{\eta_{\text{полк},t}\}$, $t = \overline{1, NT}$ на основі використовуваної в

способі, що заявляється, газодинамічної моделі

процесу стисання газу.

Коефіцієнти технічного стану для всіх NK ВЦН

КЦ розраховують в блоці 16 у такий спосіб:

за потужністю

$$K_k^N = \frac{\left[\frac{N_u}{\rho} \right]_{\text{npk}}^f (Q_{\text{np}} \text{ м}^3/\text{с})}{\left[\frac{N}{\rho} \right]_{\text{npk}}^{\text{П}} (Q_{\text{np}} \text{ м}^3/\text{с})}, \text{ де символ "П"}$$

позначає визначення параметра за відповідною паспортною характеристикою, а символ "ном" - номінальне значення зведеної об'ємної продуктивності ВЦН, і за політропним ККД

$$K_k^{\eta} = \frac{\eta_{\text{полк}}^f (Q_{\text{np}} \text{ ном})}{\eta_{\text{полк}}^{\text{П}} (Q_{\text{np}} \text{ ном})},$$

Теплотехнічні показники ВЦН розраховують в блоці 15 після визначення їхніх фактичних характеристик для кожного наступного розрахункового вектора вимірювань. Розраховують політропний ККД

$$\eta_{\text{полк},i} = \eta_{\text{полк}}^f (Q_{\text{npk},i,l}) \text{ потужність}$$

$$N_{k,i} = \left[\frac{N}{\rho} \right]_{\text{npk}}^f (Q_{\text{npk},i,l}) \cdot \rho_{\text{вхк},i,l} \cdot \left(\frac{n_{k,i,l}}{n_{\text{ном}}} \right)^3$$

комерційну продуктивність

$$Q_{\text{комк},j} = \frac{0,00144 \cdot (P_{\text{вхк},i,l} + P_{a,i,l}) \cdot T_{\text{ст}} \cdot Q_{\text{npk},i,l} \cdot n_{k,i,l}}{P_{\text{ст}} \cdot T_{\text{вхк},i,l} \cdot Z_{\text{вхк},i,l} \cdot n_{\text{ном}}},$$

де $Q_{\text{npk},i,l}$ - значення зведеної об'ємної продуктивності, розраховане за вектором $X_{k,i,l}^f$ і

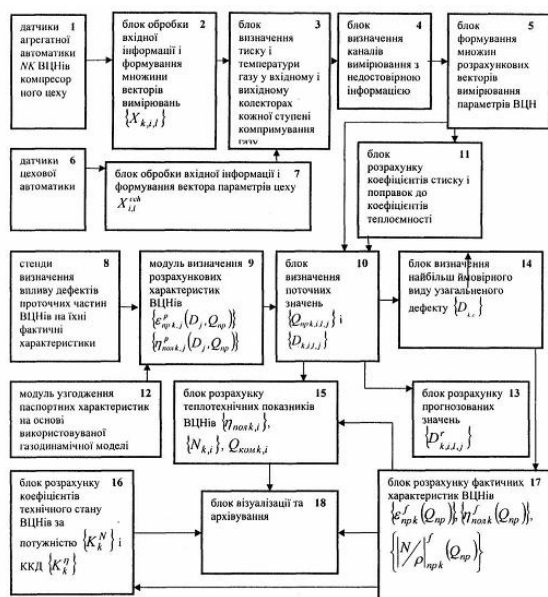
характеристикою $\varepsilon_{\text{npk}}^f(Q_{\text{np}})$, а $\rho_{\text{вхк},i,l}$ і $Z_{\text{вхк},i,l}$ значення густини газу і відповідно коефіцієнта стискальності газу на вході k-ого ВЦН, $T_{\text{ст}}$, $P_{\text{ст}}$ - значення температури і тиску газу, при яких визначається комерційна продуктивність.

Джерела інформації:

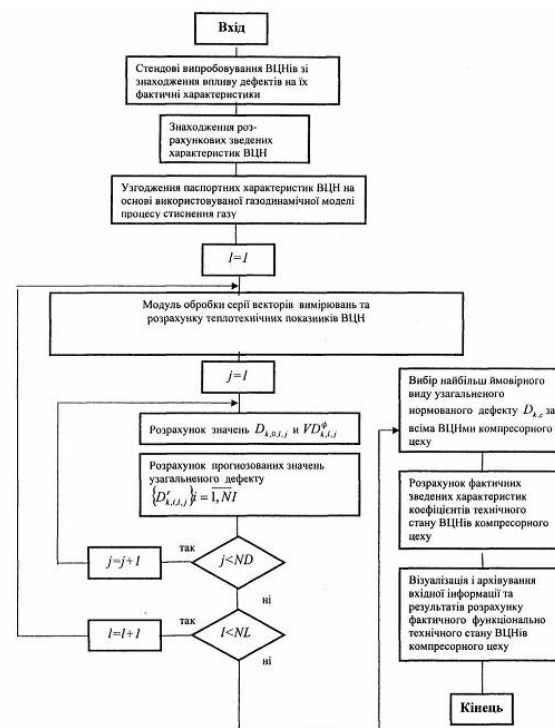
1. Определение газодинамических характеристик нагнетателей на КС. А.М. Проскураков, А.И. Черников, В.И. Лысюк, М.Б. Письман. Газовая промышленность, №5, 2000г, с.48-50.

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

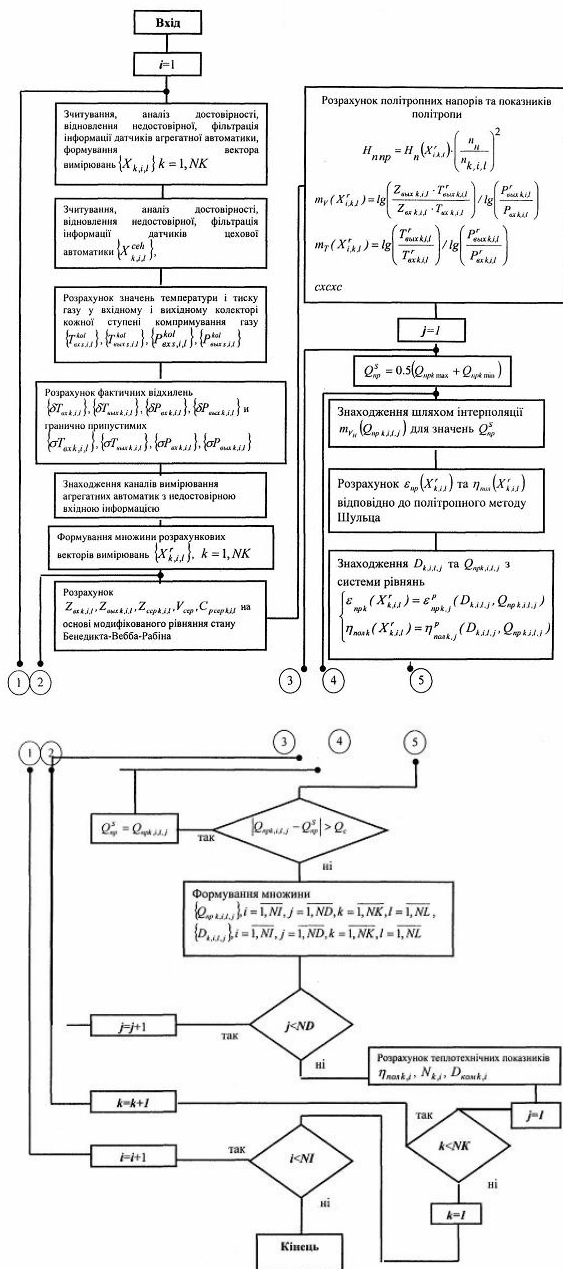
3. Патент на корисну модель №19308 Спосіб визначення фактичних характеристик парку ВЦН газотранспортної системи. МПК (2006) G01F 1/34, бюл.12



Фіг. 1



Фіг. 2



Фиг. 3