



УКРАЇНА

(19) **UA** (11) **40144** (13) **U**
(51) **МПК (2009)**
F15D 1/00
F17D 5/00

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ
І НАУКИ УКРАЇНИ

ДЕРЖАВНИЙ ДЕПАРТАМЕНТ
ІНТЕЛЕКТУАЛЬНОЇ
ВЛАСНОСТІ

ОПИС ДО ПАТЕНТУ НА КОРИСНУ МОДЕЛЬ

видається під
відповідальність
власника
патенту

(54) СПОСІБ ОЦІНЮВАННЯ КОЕФІЦІЄНТА ГІДРАВЛІЧНОГО ОПОРУ ЦИКЛОННОГО ПИЛОВЛОВЛЮВАЧА

1

2

(21) u200812733

(22) 30.10.2008

(24) 25.03.2009

(46) 25.03.2009, Бюл.№ 6, 2009 р.

(72) БЕККЕР МИХАЙЛО ВІКТОРОВИЧ, UA, МЕДВЕДЄВА ЛЕСЯ МИКИТІВНА, UA, МАНДРА АНАТОЛІЙ СТЕПАНОВИЧ, UA, НАЛІСНИЙ МИКОЛА БОРИСОВИЧ, UA, ЧОРНИЙ ГЕОРГІЙ ІГОРЕВИЧ, UA, ЄФРЕМОВ СЕРГІЙ ГРИГОРОВИЧ, UA, ФИК ІЛЛЯ МИХАЙЛОВИЧ, UA, КОТОК ВАЛЕРІЙ БОРИСОВИЧ, UA, СЕНДЕРОВ ОЛЕГ ОЛЕКСАНДРОВИЧ, UA, БАНТЮКОВ ЄВГЕН МИКОЛАЙОВИЧ, UA
(73) ДОЧІРНЯ КОМПАНІЯ "УКРТРАНСГАЗ" НАЦІОНАЛЬНОЇ АКЦІОНЕРНОЇ КОМПАНІЇ "НАФТОГАЗ УКРАЇНИ", UA

(57) Спосіб оцінювання коефіцієнта гідравлічного опору циклонного пиловловлювача, що включає визначення густини газу - ρ_0 при нормальних умовах і виміру параметрів, що характеризують роботу циклонного пиловловлювача, - тиску - $P_{вх}$, температури - $T_{вх}$ і витрати - q газу на вході пиловловлювача, який **відрізняється** тим, що уведено вимір перепаду тиску - ΔP на пиловловлювачі також як параметр, що характеризує роботу пиловловлювача, виміри тиску - $P_{вх}$, температури - $T_{вх}$ і витрати - q газу на вході циклонного пиловловлювача і перепаду тиску - ΔP на пиловловлювачі здійснюються із установленим періодом протягом заданого інтервалу часу виміру, з отриманих значень параметрів відбирають K наборів значень параметрів - тиску, температури, витрати газу на вході пиловловлювача і перепаду тиску на пиловловлювачі в одному зрізі часу при значеннях вхідного тиску або витрати газу, що найбільш відрізняються один від одного, і визначають величину коефіцієнта гідравлічного опору - λ , при якій цілкова функція

$$F(\lambda) = \frac{a}{\lambda^2} + \frac{b}{\lambda} - \frac{c}{\sqrt{\lambda}} + d - e\lambda + f\lambda^2,$$

$$\text{де } a = \sum_{k=1}^K B_{1k} = \sum_{k=1}^K E \frac{\Delta P_k^u \cdot Z_{вхk}^u \cdot T_{вхk}^u}{(q_k^u)^2 \cdot \sigma_p},$$

$$b = \sum_{k=1}^K (A_{1k}^2 - 2B_{1k}B_{2k}) = \sum_{k=1}^K \left(E \frac{\Delta P_k^u \cdot Z_{вхk}^u \cdot T_{вхk}^u}{P_{вхk}^u \cdot \sigma_q^2} - 2E \frac{\Delta P_k^u \cdot Z_{вхk}^u \cdot T_{вхk}^u}{(q_k^u)^2 \cdot \sigma_p} \frac{P_{вхk}^u}{\sigma_p} \right)$$

$$c = 2 \sum_{k=1}^K A_{1k} A_{2k} = 2 \sum_{k=1}^K \sqrt{E \frac{\Delta P_k^u \cdot Z_{вхk}^u \cdot T_{вхk}^u}{P_{вхk}^u \cdot \sigma_q^2}} \cdot \frac{q_k^u}{\sigma_q}$$

$$d = \sum_{k=1}^K (A_{2k}^2 + B_{2k}^2 + C_{2k}^2 + D_{2k}^2) = \sum_{k=1}^K \left[\left(\frac{q_k^u}{\sigma_q} \right)^2 + \left(\frac{P_{вхk}^u}{\sigma_p} \right)^2 + \left(\frac{T_{вхk}^u}{\sigma_T} \right)^2 + \left(\frac{\Delta P_k^u}{\sigma_{\Delta P}} \right)^2 \right]$$

$$e = 2 \sum_{k=1}^K (C_{1k} C_{2k} + D_{1k} D_{2k}) = 2 \sum_{k=1}^K \left(\frac{P_{вхk}^u \cdot (q_k^u)^2}{EZ_{вхk}^u \Delta P_k^u \sigma_T} \frac{T_{вхk}^u}{\sigma_T} + \frac{P_{вхk}^u \cdot (q_k^u)^2}{EZ_{вхk}^u T_{вхk}^u \sigma_{\Delta P}} \frac{T_{вхk}^u}{\sigma_{\Delta P}} \right)$$

$$f = \sum_{k=1}^K (C_{1k}^2 + D_{1k}^2) = \sum_{k=1}^K \left[\left(\frac{P_{вхk}^u \cdot (q_k^u)^2}{EZ_{вхk}^u \Delta P_k^u \sigma_T} \right)^2 + \left(\frac{P_{вхk}^u \cdot (q_k^u)^2}{EZ_{вхk}^u T_{вхk}^u \sigma_{\Delta P}} \right)^2 \right]$$

k і K - номер виміру параметрів і кількість вимірів;

q_k^p , $P_{вхk}^p$, $T_{вхk}^p$, ΔP_k^p - k -і розрахункові значення витрати, тиску і температури на вході пиловловлювача і перепаду тиску на пиловловлювачі відповідно;

q_k^u , $P_{вхk}^u$, $T_{вхk}^u$, ΔP_k^u - k -і обмірювані значення витрати, тиску і температури на вході пиловловлювача і перепаду тиску на пиловловлювачі відповідно;

σ_q , σ_p , σ_T , $\sigma_{\Delta P}$ - паспортні значення середньоквадратичного відхилення результатів виміру датчиків, що вимірюють значення витрати, тиску і температури на вході пиловловлювача і перепаду тиску на пиловловлювачі відповідно.

$Z_{вх}$ - коефіцієнт стисливості газу на вході пиловловлювачів;

$$E = \frac{2g\pi^2 R^4 n^2 P_0}{\rho_0 T_0} - \text{відома числова величина};$$

g - прискорення вільного падіння;

R - радіус циклонного елемента пиловловлювача;

(13) U

(11) 40144

(19) UA

n - число циклонних елементів у циклонному пиловловлювачі;

P_0 і T_0 - тиск і температура газу за нормальних умов відповідно,

має мінімальне значення, що є оцінкою коефіцієнта гідравлічного опору - λ .

Передбачувана корисна модель належить до гідродинаміки та гідравліки і може бути використана для оцінювання коефіцієнта гідравлічного опору циклонного пиловловлювача, наприклад, на компресорних станціях магістральних газопроводів і на інших об'єктах.

Відомий спосіб експериментального визначення гідравлічних характеристик ділянки гідромагістралі і пристрій для його здійснення [а. с. СРСР № 1827453. Ф 15D 1/02. Ф 17D 1/20. 1991. БИ № 26], що полягає у вимірі часу витікання рідини через трубопровід із судини з дренажною трубою, при цьому глибину занурення кінця дренажної труби в судині змінюють безупинно при витіканні рідини за вимірюваний проміжок часу.

Даний спосіб експериментального визначення гідравлічних характеристик ділянки гідромагістралі так само, як і спосіб оцінювання коефіцієнта гідравлічного опору циклонного пиловловлювача, що заявляється, призначений для визначення гідравлічних характеристик відповідних об'єктів. Однак, відсутність виміру параметрів, що характеризують роботу гідравлічного об'єкта, і обчислення оцінки коефіцієнта гідравлічного опору не дозволяє використовувати відомий спосіб для контролю і керування роботою гідравлічного об'єкта.

Відомий спосіб визначення коефіцієнта гідравлічного опору при живому перетині трубопроводу, що змінюється у процесі експлуатації (а. с. СРСР № 1784751. кл. Ф 15D 1/02. 1991. БИ № 48), що включає вимір витрати Q і питомих втрат напору I , при цьому в трубопроводі створюють турбулентний режим руху як в області $\lambda=f(Re, K_r)$, так і в області $\lambda=f(K_r)$, визначають співвідношення $Q\sqrt{I}$ окремо для обох областей, потім знаходять витрату, для якої дотримується умова

$2 \frac{Q_3}{\sqrt{I_3}} = \frac{Q_1}{\sqrt{I_1}} + \frac{Q_2}{\sqrt{I_2}}$, а гідравлічний опір в області $\lambda=f(K_r)$ визначають зі співвідношення

$$\lambda = 0,25 \frac{\left(1 - \sqrt{\frac{I_1}{I_3}} \frac{Q_1}{Q_3}\right)^2}{\lg^2 \left(\sqrt{\frac{I_3}{I_2}} - 1\right)},$$

де K_r - відносна еквівалентна шорсткість трубопроводу;

Re - число Рейнольдса;

I_1 - питомі втрати напору в області $\lambda=f(K_r)$ при витраті Q_1 ;

I_2, I_3 - питомі втрати напору в області $\lambda=f(Re, K_r)$ при витраті Q_2 і Q_3 відповідно.

Даний спосіб визначення коефіцієнта гідравлічного опору при живому перетині трубопроводу,

що змінюється у процесі експлуатації так само, як і спосіб оцінювання коефіцієнта гідравлічного опору циклонного пиловловлювача, що заявляється, включає вимір витрати і перепаду тиску (втрати напору). Однак, відсутність вимірювання на вході циклонного пиловловлювача тиску, температури газу і визначення густини газу при нормальних умовах із встановленим періодом протягом заданого інтервалу часу, вибору з отриманих значень параметрів K наборів значень параметрів - тиску, температури, витрати газу на вході пиловловлювача і перепаду тиску на пиловловлювачі одного зрізу часу при значеннях вхідного тиску або витрати газу, що найбільше відрізняються один від одного, і визначення величини коефіцієнта гідравлічного опору, при якій цільова функція $F(\lambda)$, має мінімальне значення, і яка є оцінкою коефіцієнта гідравлічного опору - λ , не дозволяє оперативно оцінювати коефіцієнт гідравлічного опору і звужує область використання відомого способу.

Найбільш близьким по технічній сутності є спосіб контролю гідравлічного стану магістрального трубопроводу (Патент України № 34697, кл. Ф 17D 5/00. Бюл. № 6. 2003), що включає виміри тиску і температури газу на вході і на виході контрольованої ділянки магістрального трубопроводу, визначення витрати газу на вході контрольованої ділянки магістрального трубопроводу і густини газу, обчислення теоретичного і фактичного коефіцієнтів гідравлічного опору трубопроводу і коефіцієнта гідравлічної ефективності кожної ділянки трубопроводу за формулах:

$$\lambda_{\text{теор}} = 0,67(121,6 \cdot D \cdot m / Q + 6,0/D)^{0,2}$$

$$\lambda_{\text{факт}} = \lambda_{\text{теор}} f^2 g D / Z R T_{\text{ср}} I Q^2$$

$$E_{\text{ф}} = \sqrt{\lambda_{\text{теор}} / \lambda_{\text{факт}}}$$

де $\lambda_{\text{теор}}$ - теоретичний коефіцієнт гідравлічного опору трубопроводу;

$\lambda_{\text{факт}}$ - фактичний коефіцієнт гідравлічного опору трубопроводу;

$E_{\text{ф}}$ - коефіцієнт гідравлічної ефективності трубопроводу;

$m = 0,166 + 0,322 \cdot 10^{-3} T_{\text{ср}} + 1,75 \cdot 10^{-7} \cdot P_{\text{ср}}$ - динамічна в'язкість газу;

$P_{\text{ср}}$ - середнє значення тиску на ділянці магістрального трубопроводу;

$T_{\text{ср}}$ - середнє значення температури на ділянці магістрального трубопроводу;

D - діаметр трубопроводу на контрольованій ділянці;

Q - витрата газу на вході ділянки магістрального трубопроводу;

f - площа поперечного перерізу труби;

g - прискорення вільного падіння;

I - довжина контрольованої ділянки магістрального трубопроводу;

R - газова постійна;

$Z = T_{\text{пр}}^3 + P_{\text{пр}}(0,04P_{\text{пр}} + 0,41 - 0,61T_{\text{пр}}^2)/T_{\text{пр}}^3$ - коефіцієнт стисливості газу;

$P_{\text{пр}}$ і $T_{\text{пр}}$ - приведені значення тиску і температури газу відповідно,

при цьому кожний з розрахованих коефіцієнтів гідравлічної ефективності порівнюють зі встановленим для даної ділянки трубопроводу значенням і сигналізують про забруднення трубопроводу, якщо значення коефіцієнта гідравлічної ефективності хоча б однієї з ділянок менше встановленого для нього значення.

Даний спосіб контролю гідравлічного стану магістрального трубопроводу так само, як і спосіб оцінювання коефіцієнта гідравлічного опору циклонного пиловловлювача, що заявляється, включає вимір тиску, температури і витрати газу на вході об'єкта, коефіцієнт гідравлічного опору якого оцінюється, і густини газу. Однак, відсутність виміру перепаду тиску на об'єкті, зокрема, на циклонному пиловловлювачі й обчислень по приведених формулах не дозволяє оперативно оцінювати значення коефіцієнта гідравлічного опору і звужує область використання відомого способу.

В основу передбачуваної корисної моделі поставлена задача удосконалення способу оцінювання коефіцієнта гідравлічного опору циклонного пиловловлювача шляхом розширення області використання за рахунок оперативного оцінювання його значення в реальному масштабі часу.

Поставлена задача вирішується тим, що у відомий спосіб оцінювання коефіцієнта гідравлічного опору циклонного пиловловлювача, що включає визначення густини газу - ρ_0 при нормальних умовах і виміру параметрів, що характеризують роботу циклонного пиловловлювача, - тиску - $P_{\text{вх}}$, температури - $T_{\text{вх}}$ і витрати - q газу на вході пиловловлювача, згідно з корисною моделлю уведений вимір перепаду тиску - ΔP на пиловловлювачі також як параметр, що характеризує роботу пиловловлювача, виміри тиску - $P_{\text{вх}}$, температури - $T_{\text{вх}}$ і витрати - q газу на вході циклонного пиловловлювача і перепаду тиску - ΔP на пиловловлювачі здійснюють із установленим періодом протягом заданого інтервалу часу виміру, з отриманих значень параметрів відбирають K наборів значень параметрів - тиску, температури, витрати газу на вході пиловловлювача і перепаду тиску на пиловловлювачі в одному зрізі часу при значеннях вхідного тиску або витрати газу, які найбільш відрізняються один від одного, і визначають величину коефіцієнта гідравлічного опору - λ , при якій цілю-

ва функція

$$F(\lambda) = \frac{a}{\lambda^2} + \frac{b}{\lambda} - \frac{c}{\sqrt{\lambda}} + d - e\lambda + f\lambda^2,$$

де

$$a = \sum_{k=1}^K B_{1k} = \sum_{k=1}^K E \frac{\Delta P_k^{\text{и}} \cdot Z_{\text{вх}_k}^{\text{и}} \cdot T_{\text{вх}_k}^{\text{и}}}{(q_k^{\text{и}})^2 \cdot \sigma_P},$$

$b = \sum_{k=1}^K (A_{1k}^2 - 2B_{1k}B_{2k}) = \sum_{k=1}^K \left(E \frac{\Delta P_k^{\text{и}} \cdot Z_{\text{вх}_k}^{\text{и}} \cdot T_{\text{вх}_k}^{\text{и}}}{P_{\text{вх}_k}^{\text{и}} \cdot \sigma_q^2} - 2E \frac{\Delta P_k^{\text{и}} \cdot Z_{\text{вх}_k}^{\text{и}} \cdot T_{\text{вх}_k}^{\text{и}}}{(q_k^{\text{и}})^2 \cdot \sigma_P} \frac{P_{\text{вх}_k}^{\text{и}}}{\sigma_P} \right)$

$c = 2 \sum_{k=1}^K A_{1k} A_{2k} = 2 \sum_{k=1}^K \sqrt{E \frac{\Delta P_k^{\text{и}} \cdot Z_{\text{вх}_k}^{\text{и}} \cdot T_{\text{вх}_k}^{\text{и}}}{P_{\text{вх}_k}^{\text{и}} \cdot \sigma_q^2} \cdot \frac{q_k^{\text{и}}}{\sigma_q}}$

$$d = \sum_{k=1}^K (A_{2k}^2 + B_{2k}^2 + C_{2k}^2 + D_{2k}^2) = \sum_{k=1}^K \left[\left(\frac{q_k^{\text{и}}}{\sigma_q} \right)^2 + \left(\frac{P_{\text{вх}_k}^{\text{и}}}{\sigma_P} \right)^2 + \left(\frac{T_{\text{вх}_k}^{\text{и}}}{\sigma_T} \right)^2 + \left(\frac{\Delta P_k^{\text{и}}}{\sigma_{\Delta P}} \right)^2 \right]$$

$$e = 2 \sum_{k=1}^K (C_{1k}C_{2k} + D_{1k}D_{2k}) = 2 \sum_{k=1}^K \left(\frac{P_{\text{вх}_k}^{\text{и}} \cdot (q_k^{\text{и}})^2}{EZ_{\text{вх}_k}^{\text{и}} \Delta P_k^{\text{и}} \sigma_T} \frac{T_{\text{вх}_k}^{\text{и}}}{\sigma_T} + \frac{P_{\text{вх}_k}^{\text{и}} \cdot (q_k^{\text{и}})^2}{EZ_{\text{вх}_k}^{\text{и}} T_{\text{вх}_k}^{\text{и}} \sigma_{\Delta P}} \frac{T_{\text{вх}_k}^{\text{и}}}{\sigma_{\Delta P}} \right)$$

$$f = \sum_{k=1}^K (C_{1k}^2 + D_{1k}^2) = \sum_{k=1}^K \left[\left(\frac{P_{\text{вх}_k}^{\text{и}} \cdot (q_k^{\text{и}})^2}{EZ_{\text{вх}_k}^{\text{и}} \Delta P_k^{\text{и}} \sigma_T} \right)^2 + \left(\frac{P_{\text{вх}_k}^{\text{и}} \cdot (q_k^{\text{и}})^2}{EZ_{\text{вх}_k}^{\text{и}} T_{\text{вх}_k}^{\text{и}} \sigma_{\Delta P}} \right)^2 \right]$$

k і K - номер виміру параметрів і кількість вимірів;

$q_k^{\text{р}}$, $P_{\text{вх}}^{\text{р}}$, $T_{\text{вх}_k}^{\text{р}}$, $\Delta P_k^{\text{р}}$ - k -і розрахункові значення витрати, тиску і температури на вході пиловловлювача і перепаду тиску на пиловловлювачі відповідно;

$q_k^{\text{и}}$, $P_{\text{вх}_k}^{\text{и}}$, $T_{\text{вх}_k}^{\text{и}}$, $\Delta P_k^{\text{и}}$ - k -і обмірювані значення витрати, тиску і температури на вході пиловловлювача і перепаду тиску на пиловловлювачі відповідно;

σ_q , σ_P , σ_T , $\sigma_{\Delta P}$ - паспортні значення середньоквадратичного відхилення результатів виміру датчиків, що вимірюють значення витрати, тиску і температури на вході пиловловлювача і перепаду тиску на пиловловлювачі відповідно.

$Z_{\text{вх}}$ - коефіцієнт стисливості газу на вході пиловловлювачів;

$$E = \frac{2g\pi^2 R^4 n^2 P_0}{\rho_0 T_0} \text{ - відома числова величина;}$$

g - прискорення вільного падіння;

R - радіус циклонного елемента пиловловлювача;

n - число циклонних елементів у циклонному пиловловлювачі;

P_0 і T_0 - тиск і температура газу за нормальних умов відповідно, має мінімальне значення, що є оцінкою коефіцієнта гідравлічного опору - λ .

Введення виміру тиску - $P_{\text{вх}}$, температури - $T_{\text{вх}}$ і витрати - q газу на вході пиловловлювача і перепаду тиску - ΔP на пиловловлювачі з установленим періодом протягом заданого інтервалу часу виміру, відбору з отриманих значень параметрів K наборів значень параметрів - тиску, температури, витрати газу на вході пиловловлювача і перепаду тиску на пиловловлювачі в одному зрізі часу при значеннях вхідного тиску або витрати газу, що найбільше відрізняються один від одного, і визначення величини коефіцієнта гідравлічного опору - λ , при якій цілюва функція

$$F(\lambda) = \frac{a}{\lambda^2} + \frac{b}{\lambda} - \frac{c}{\sqrt{\lambda}} + d - e\lambda + f\lambda^2$$

має мінімальне значення і яка є оцінкою коефіцієнта гідравлічного опору - λ дозволяє оперативно оцінювати коефіцієнт гідравлічного опору і, за рахунок цього, розширити область використання запропонованого способу, наприклад, використовувати його при

оперативному контролю і керуванні роботою пиловловлювачів.

Пиловловлювачі призначені для очищення газу, що надходить на компресорну станцію з магістрального газопроводу, на підземне сховище газу та на інші об'єкти від різного роду механічних домішок, води і конденсату. Для реалізації технологічного режиму роботи компресорної станції пиловловлювачі повинні забезпечувати якісне очищення газу, що, наприклад, перекачується компресорною станцією, при цьому обсяг газу може змінюватися у встановлених межах. У ході експлуатації змінюється гідравлічний опір циклонного пиловловлювача, що веде до неточного визначення робочих характеристик циклонного пиловловлювача і, відповідно, до погіршення якості контролю і керування його роботою, і як наслідок до погіршення якості очищення газу і зменшенню терміну експлуатації устаткування компресорної станції.

Для оцінки коефіцієнта гідравлічного опору - λ за обмірюваними значеннями параметрів - тиску - $P_{\text{вх}}$, температурі - $T_{\text{вх}}$, витраті - q газу на вході пиловловлювача і перепаду тиску - ΔP на пиловловлювачі, що характеризують роботу циклонних пиловловлювачів, при відомому значенні густини газу - ρ_0 за нормальних умов складається цільова функція - $F(\lambda)$, що залежить від коефіцієнта гідравлічного опору - λ . Мінімальне значення $F(\lambda)$ відповідає оцінці коефіцієнта гідравлічного опору - λ . Як приклад складемо за методом максимальної правдоподібності цільову функцію по K наборам значень параметрів q , $P_{\text{вх}}$, $T_{\text{вх}}$ і ΔP :

$$F(\lambda) = \sum_{k=1}^K \left[\left(\frac{q_k^p - q_k^u}{\sigma_q} \right)^2 + \left(\frac{P_{\text{вх}k}^p - P_{\text{вх}k}^u}{\sigma_P} \right)^2 + \left(\frac{T_{\text{вх}k}^p - T_{\text{вх}k}^u}{\sigma_T} \right)^2 + \left(\frac{\Delta P_k^p - \Delta P_k^u}{\sigma_{\Delta P}} \right)^2 \right]$$

де k і K - номер виміру параметрів і кількість їхніх вимірів;

q_k^p , $P_{\text{вх}k}^p$, $T_{\text{вх}k}^p$, ΔP_k^p - k -і розрахункові значення витрати, тиску і температури на вході пиловловлювача і перепаду тиску на пиловловлювачі відповідно;

q_k^u , $P_{\text{вх}k}^u$, $T_{\text{вх}k}^u$, ΔP_k^u - k -і обмірювані значення витрати, тиску і температури на вході пиловловлювача і перепаду тиску на пиловловлювачі відповідно;

σ_q , σ_P , σ_T , $\sigma_{\Delta P}$ - паспортні значення середньоквадратичного відхилення результатів виміру датчиків, що вимірюють значення витрати, тиску і температури на вході пиловловлювача і перепаду тиску газу на пиловловлювачі відповідно.

Розрахункові значення необхідних параметрів визначимо з формули

$$q = \pi R^2 n \cdot \sqrt{\frac{2 \cdot g \cdot P_0 \cdot \Delta P \cdot Z_{\text{вх}} \cdot T_{\text{вх}}}{\rho_0 \cdot T_0 \cdot \lambda \cdot P_{\text{вх}}}} = \sqrt{E \frac{\Delta P \cdot Z_{\text{вх}} \cdot T_{\text{вх}}}{\lambda \cdot P_{\text{вх}}}},$$

де g - прискорення вільного падіння;

R - радіус циклонного елемента пиловловлювача;

n - число циклонних елементів у циклонному пиловловлювачі;

P_0 і T_0 - тиск і температура газу за нормальних умов відповідно.

$Z_{\text{вх}}$ - коефіцієнт стисливості газу на вході пиловловлювачів, що визначається, наприклад, по формулі $Z_{\text{вх}} = \frac{P_{\text{вх}}^3}{P_{\text{пр}}^3} + P_{\text{пр}}(0,04 \cdot P_{\text{пр}} + 0,41 - 0,61 \cdot T_{\text{пр}}^2) / T_{\text{пр}}^3$;

$P_{\text{пр}}$ і $T_{\text{пр}}$ - приведені значення тиску і температури газу відповідно;

$$E = \frac{2g\pi^2 R^4 n^2 P_0}{\rho_0 T_0}$$

- відома числова величина, тому що відомі всі складові її величини.

Вважаючи в кожному випадку відомими всі параметри, крім тих, що розраховуються, отримаємо наступні формули для визначення розрахункових значень параметрів:

$$q_k^p = \sqrt{E \frac{\Delta P_k^u \cdot Z_{\text{вх}k}^u \cdot T_{\text{вх}k}^u}{P_{\text{вх}k}^u} \frac{1}{\sqrt{\lambda}}} = \frac{A_k}{\sqrt{\lambda}}, \quad \text{де}$$

$$A_k = \sqrt{E \frac{\Delta P_k^u \cdot Z_{\text{вх}k}^u \cdot T_{\text{вх}k}^u}{P_{\text{вх}k}^u}},$$

$$P_{\text{вх}k}^p = E \frac{\Delta P_k^u \cdot Z_{\text{вх}k}^u \cdot T_{\text{вх}k}^u}{(q_k^u)^2} \frac{1}{\lambda} = \frac{B_k}{\lambda}, \quad \text{де}$$

$$B_k = E \frac{\Delta P_k^u \cdot Z_{\text{вх}k}^u \cdot T_{\text{вх}k}^u}{(q_k^u)^2},$$

$$T_{\text{вх}k}^p = \frac{P_{\text{вх}k}^u \cdot (q_k^u)^2}{EZ_{\text{вх}k}^u \Delta P_k^u} \frac{1}{\lambda} = C_k \lambda, \quad \text{де} \quad C_k = \frac{P_{\text{вх}k}^u \cdot (q_k^u)^2}{EZ_{\text{вх}k}^u \Delta P_k^u},$$

$$\Delta P_k^p = \frac{P_{\text{вх}k}^u \cdot (q_k^u)^2}{EZ_{\text{вх}k}^u T_{\text{вх}k}^u} \lambda = D_k \lambda, \quad \text{де} \quad D_k = \frac{P_{\text{вх}k}^u \cdot (q_k^u)^2}{EZ_{\text{вх}k}^u T_{\text{вх}k}^u},$$

при цьому. A_k , B_k , C_k і D_k є відомими числовими величинами, що визначаються по відповідних вищенаведених формулах. Тоді елементи цільової функції можна представити у такому вигляді:

$$\frac{q_k^p - q_k^u}{\sigma_q} = \frac{A_k}{\sigma_q \sqrt{\lambda}} - \frac{q_k^u}{\sigma_q} = \frac{A_{1k}}{\sqrt{\lambda}} - A_{2k}, \quad \text{де} \quad A_{1k} = \frac{A_k}{\sigma_q},$$

$$A_{2k} = \frac{q_k^u}{\sigma_q},$$

$$\frac{P_{\text{вх}k}^p - P_{\text{вх}k}^u}{\sigma_P} = \frac{B_k}{\sigma_P \lambda} - \frac{P_{\text{вх}k}^u}{\sigma_P} = \frac{B_{1k}}{\lambda} - B_{2k}, \quad \text{де} \quad B_{1k} = \frac{B_k}{\sigma_P},$$

$$B_{2k} = \frac{P_{\text{вх}k}^u}{\sigma_P},$$

$$\frac{T_{\text{вх}k}^p - T_{\text{вх}k}^u}{\sigma_T} = \frac{C_k \lambda}{\sigma_T} - \frac{T_{\text{вх}k}^u}{\sigma_T} = C_{1k} \lambda - C_{2k}, \quad \text{де}$$

$$C_{1k} = \frac{C_k}{\sigma_T}, \quad C_{2k} = \frac{T_{\text{вх}k}^u}{\sigma_T},$$

$$\frac{\Delta P_k^p - \Delta P_k^i}{\sigma_{\Delta P}} = \frac{D_k \lambda}{\sigma_{\Delta P}} - \frac{\Delta P_k^i}{\sigma_{\Delta P}} = D_{1k} \lambda - D_{2k}, \quad \text{де}$$

$$D_{1k} = \frac{D_k}{\sigma_{\Delta P}}, \quad D_{2k} = \frac{\Delta P_k^i}{\sigma_{\Delta P}}$$

при цьому $A_{1k}, A_{2k}, B_{1k}, B_{2k}, C_{1k}, C_{2k}, D_{1k}, D_{2k}$ є відомими числовими величинами, що розраховуються по відповідним вище приведеним формулам. Підставивши вираження окремих елементів у цільову функцію, отримаємо

$$F(\lambda) = \sum_{k=1}^K \left[\left(\frac{A_{1k}}{\sqrt{\lambda}} - A_{2k} \right)^2 + \left(\frac{B_{1k}}{\lambda} - B_{2k} \right)^2 + (C_{1k} \lambda - C_{2k})^2 + (D_{1k} \lambda - D_{2k})^2 \right]$$

перетворивши отриманий вираз, отримаємо:

$$F(\lambda) = \frac{a}{\lambda^2} + \frac{b}{\lambda} - \frac{c}{\sqrt{\lambda}} + d - e\lambda + f\lambda^2$$

$$a = \sum_{k=1}^K B_{1k} = \sum_{k=1}^K E \frac{\Delta P_k^i \cdot Z_{VX_k}^i \cdot T_{VX_k}^i}{(q_k^i)^2 \cdot \sigma_P}, \quad \text{де}$$

$$b = \sum_{k=1}^K (A_{1k}^2 - 2B_{1k}B_{2k}) = \sum_{k=1}^K \left(E \frac{\Delta P_k^i \cdot Z_{VX_k}^i \cdot T_{VX_k}^i}{P_{VX_k}^i \cdot \sigma_q^2} - 2E \frac{\Delta P_k^i \cdot Z_{VX_k}^i \cdot T_{VX_k}^i}{(q_k^i)^2 \cdot \sigma_P} \frac{P_{VX_k}^i}{\sigma_P} \right)$$

$$c = 2 \sum_{k=1}^K A_{1k} A_{2k} = 2 \sum_{k=1}^K \sqrt{E \frac{\Delta P_k^i \cdot Z_{VX_k}^i \cdot T_{VX_k}^i}{P_{VX_k}^i \cdot \sigma_q^2} \cdot \frac{q_k^i}{\sigma_q}}$$

$$d = \sum_{k=1}^K (A_{2k}^2 + B_{2k}^2 + C_{2k}^2 + D_{2k}^2) = \sum_{k=1}^K \left[\left(\frac{q_k^i}{\sigma_q} \right)^2 + \left(\frac{P_{VX_k}^i}{\sigma_P} \right)^2 + \left(\frac{T_{VX_k}^i}{\sigma_T} \right)^2 + \left(\frac{\Delta P_{VX_k}^i}{\sigma_{\Delta P}} \right)^2 \right]$$

$$e = 2 \sum_{k=1}^K (C_{1k} C_{2k} + D_{1k} D_{2k}) = 2 \sum_{k=1}^K \left(\frac{P_{VX_k}^i \cdot (q_k^i)^2}{EZ_{VX_k}^i \Delta P_{VX_k}^i \sigma_T} \frac{T_{VX_k}^i}{\sigma_T} + \frac{P_{VX_k}^i \cdot (q_k^i)^2}{EZ_{VX_k}^i T_{VX_k}^i \sigma_{\Delta P}} \frac{\Delta P_{VX_k}^i}{\sigma_{\Delta P}} \right)$$

$$f = \sum_{k=1}^K (C_{1k}^2 + D_{1k}^2) = \sum_{k=1}^K \left[\left(\frac{P_{VX_k}^i \cdot (q_k^i)^2}{EZ_{VX_k}^i \Delta P_{VX_k}^i \sigma_T} \right)^2 + \left(\frac{P_{VX_k}^i \cdot (q_k^i)^2}{EZ_{VX_k}^i T_{VX_k}^i \sigma_{\Delta P}} \right)^2 \right]$$

Спосіб оцінювання коефіцієнта гідравлічного опору циклонного пиловловлювача, наприклад на компресорній станції, реалізується в такий спосіб.

Попередньо, відповідно до регламенту технологічного процесу компресорної станції, наприклад, один раз на добу визначають лабораторним шляхом або вимірюють (при наявності відповідних датчиків) і вводять у систему оперативного диспетчерського контролю і керування густину газу за нормальних умов - ρ_0 .

Оцінювання коефіцієнта гідравлічного опору здійснюють або автоматично з установленим періодом, що дорівнює наприклад, одному місяцеві, або по командах оперативного персоналу компре-

сорної станції. При надходженні команди на оцінювання коефіцієнта гідравлічного опору починають вимірювати з установленим періодом, який дорівнює, наприклад, одній годині, набір параметрів, що характеризують роботу циклонного пиловловлювача - тиск, температуру, витрату газу на вході пиловловлювача і перепад тиску на пиловловлювачі. Отримані значення зазначених параметрів, разом зі значенням густини газу за нормальних умов, при яких вони обмірювані, запам'ятовують. Після закінчення заданого інтервалу часу виміру, наприклад 3-х - 5-ти діб, отриманий масив наборів значень параметрів, що характеризують роботу циклонного пиловловлювача, аналізують і відбирають ті набори параметрів, що максимально відрізняються один від одного по величині витрати газу або по величині вхідного тиску газу. Їхнє число - K вибирають, наприклад, у межах від 3-х до 10-ти. За значеннями обмірюваних параметрів обраних наборів обчислюють значення коефіцієнтів - a, b, c, d, e і f цільової функції

$$F(\lambda) = \frac{a}{\lambda^2} + \frac{b}{\lambda} - \frac{c}{\sqrt{\lambda}} + d - e\lambda + f\lambda^2 \quad \text{по нижчеподаних формулах:}$$

$$a = \sum_{k=1}^K B_{1k} = \sum_{k=1}^K E \frac{\Delta P_k^i \cdot Z_{VX_k}^i \cdot T_{VX_k}^i}{(q_k^i)^2 \cdot \sigma_P},$$

$$b = \sum_{k=1}^K (A_{1k}^2 - 2B_{1k}B_{2k}) = \sum_{k=1}^K \left(E \frac{\Delta P_k^i \cdot Z_{VX_k}^i \cdot T_{VX_k}^i}{P_{VX_k}^i \cdot \sigma_q^2} - 2E \frac{\Delta P_k^i \cdot Z_{VX_k}^i \cdot T_{VX_k}^i}{(q_k^i)^2 \cdot \sigma_P} \frac{P_{VX_k}^i}{\sigma_P} \right)$$

$$c = 2 \sum_{k=1}^K A_{1k} A_{2k} = 2 \sum_{k=1}^K \sqrt{E \frac{\Delta P_k^i \cdot Z_{VX_k}^i \cdot T_{VX_k}^i}{P_{VX_k}^i \cdot \sigma_q^2} \cdot \frac{q_k^i}{\sigma_q}}$$

$$d = \sum_{k=1}^K (A_{2k}^2 + B_{2k}^2 + C_{2k}^2 + D_{2k}^2) = \sum_{k=1}^K \left[\left(\frac{q_k^i}{\sigma_q} \right)^2 + \left(\frac{P_{VX_k}^i}{\sigma_P} \right)^2 + \left(\frac{T_{VX_k}^i}{\sigma_T} \right)^2 + \left(\frac{\Delta P_{VX_k}^i}{\sigma_{\Delta P}} \right)^2 \right]$$

$$e = \sum_{k=1}^K (C_{1k} C_{2k} + D_{1k} D_{2k}) = \sum_{k=1}^K \left(\frac{P_{VX_k}^i \cdot (q_k^i)^2}{EZ_{VX_k}^i \Delta P_{VX_k}^i \sigma_T} \frac{T_{VX_k}^i}{\sigma_T} + \frac{P_{VX_k}^i \cdot (q_k^i)^2}{EZ_{VX_k}^i T_{VX_k}^i \sigma_{\Delta P}} \frac{\Delta P_{VX_k}^i}{\sigma_{\Delta P}} \right)$$

$$f = \sum_{k=1}^K (C_{1k}^2 + D_{1k}^2) = \sum_{k=1}^K \left[\left(\frac{P_{VX_k}^i \cdot (q_k^i)^2}{EZ_{VX_k}^i \Delta P_{VX_k}^i \sigma_T} \right)^2 + \left(\frac{P_{VX_k}^i \cdot (q_k^i)^2}{EZ_{VX_k}^i T_{VX_k}^i \sigma_{\Delta P}} \right)^2 \right]$$

і знаходять значення λ , при якому $F(\lambda)$ досягає мінімуму. Отримане значення λ є знайденою оцінкою коефіцієнта гідравлічного опору циклонного пиловловлювача, яку оперативний персонал може використовувати як для оцінювання стану циклонного пиловловлювача, так і для оцінювання роботи циклонних пиловловлювачів.