

## ВДОСКОНАЛЕННЯ ФІЛЬТРІВ ОЧИЩЕННЯ ГАЗІВ У ДВИГУНАХ ГАЗОПЕРЕКАЧУВАЛЬНИХ АГРЕГАТІВ

**О.Р. Якуба<sup>1</sup>, О.О. Василенко<sup>2</sup>, А.В. Чердиченко<sup>3</sup>, Ю.І. Масленников<sup>4</sup>,  
М.Ю. Савченко<sup>5</sup>**

*Проведені випробування в'язанотканих матеріалів для очищення природних газів. На основі цих результатів розроблений та виготовлений промисловий фільтр. Результати експлуатації показали можливість використання цих матеріалів для очищення газів на компресорних станціях.*

Природний газ, який використовується для роботи двигунів газоперекачувальних агрегатів (ГПА), необхідно піддавати ретельному очищенню від механічних домішок з метою запобігання забрудненню проточної частини газотурбінних двигунів, імпульсних трубок, дросельних отворів, зменшення зносу запірних та дросельних органів арматури, газових горілок та сопел. Очищення здійснюють у фільтрах з металевими, природними та штучними матеріалами. Як фільтрувальні перегородки використовують синтетичні волокна, різні тканини, волокна, керамічні набивки та кільця, металеві сітки, металокераміку, скловолокно. Фільтруючі матеріали можуть бути тканими і нетканими. Ткані матеріали роблять із кручених пасмів. Вони характеризуються малим відношенням площини отворів до площини нитки. Неткані або повстяні матеріали являють масу тонких волокон, через які газ проходить в трьох напрямках. Тому за рахунок згинання малорозмірних волокон для них характерна підвищена ефективність при високих швидкостях фільтрування [1-4].

Аналіз вітчизняних і закордонних фільтрувальних матеріалів дає можливість раціонального вибору фільтрувального матеріалу для фільтрів очищення газів у двигунах ГПА. З урахуванням економічних та технічних аспектів експлуатації газових магістралей на території України, нами вибрані вітчизняні фільтрувальні матеріали, вироблені на виробничо-технічній фабриці при українському науково-дослідному інституті з переробки штучних та синтетичних волокон (Укр. НДІПВ, місто Київ), їх відмінна особливість - підвищена механічна міцність, висока ефективність і можливість регенерації у процесі експлуатації [5].

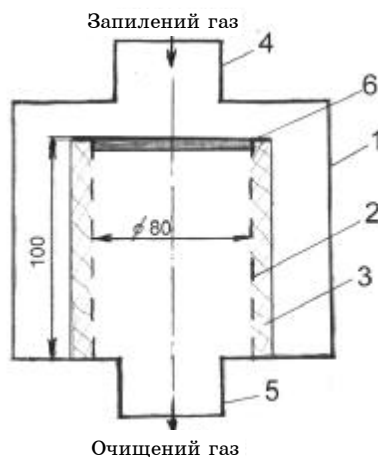


Рисунок 1 - Схема дослідного фільтра:  
1 - корпус; 2 - перфорований стакан;  
3 - фільтрувальна перегородка;  
4 - штуцер входу; 5 - штуцер очищеного повітря; 6 - кришка ( $F=7,8 \cdot 10^{-2} \text{ м}^2$ )

<sup>1</sup> Професор, Сумський національний аграрний університет.

<sup>2</sup> Доцент, Сумський національний аграрний університет.

<sup>3</sup> Канд. техн. наук, УкрНДІПВ

<sup>4</sup> Д-р техн. наук, УкрНДІПВ.

<sup>5</sup> Інженер, Сумський м'ясокомбінат.

Випробування фільтрувальних матеріалів здійснювалося в дослідному фільтрі, показаному на рис 1. Випробувальні тканини закріплювалися із зовнішньої сторони патрубку діаметром 57мм, висотою 100мм.

Фільтр розміщувався в установці, яка складається із вентилятора продуктивністю 75 м<sup>3</sup>/год та напором 140 кгс/м<sup>2</sup>. Регулювання продуктивності вентилятора встановлювалось змінюванням числа обертів двигуна постійного струму. Витрати вимірювалися дросельною шайбою з діаметром трубопроводу 50 мм і діаметром шайби 36 мм.

Опір фільтрувальної тканини та всі інші показники тиску встановлювалися V-подібними диференціальними манометрами. Всі прилади та агрегати змонтовані на загальному металевому каркасі із профільного матеріалу, обшитого текстолітовими листами. Як фільтрувальна тканина використовувались в'язаноткані матеріали Київської технічної фабрики [5]. Випробовували також фільтр із склотканини (15 шарів), який використовується на даний час у ГПА [6]. Для забруднення повітря використовувалось борошно з таким складом: 1-15 мкм -25,5%; 15-30 мкм -21,8%; 30-60 мкм -21,8%; 60-130 мкм -20%; більше 1 мм -10,9%. Основні показники випробувань подані на рис.2. Випробуваннями встановлено таке:

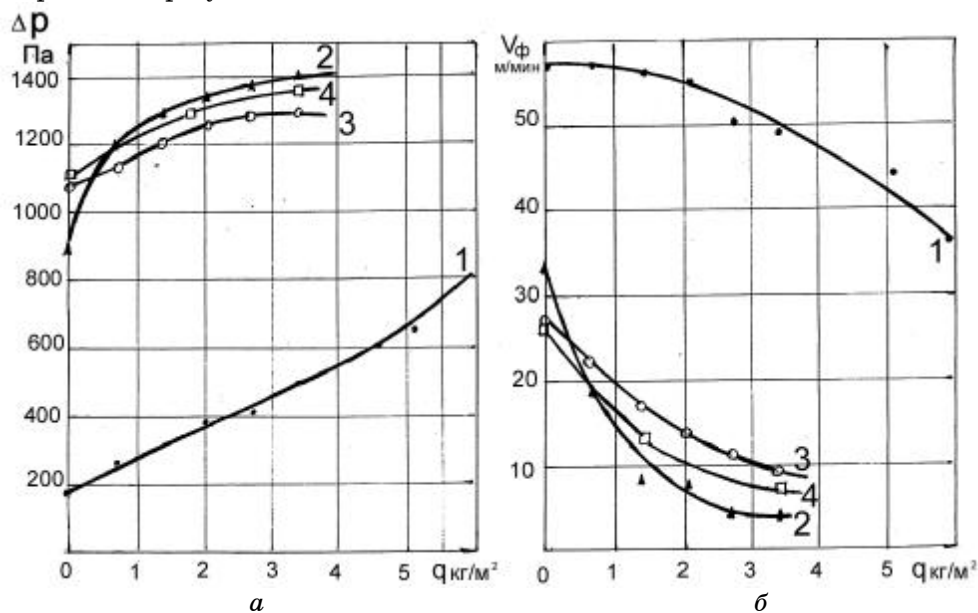


Рисунок 2 – Зміна опору фільтра та швидкості фільтрування із підвищенням навантаження пилу: 1 – склотканина(15 шарів) ; 2 – лавсан (1 шар); 3 – лавсан із сіткою (1 шар, 3 шари сітки); 4 – лавсан (2 шари, 2 шари підкладочної сітки)

1 Фільтр із склотканини має малий опір і велику швидкість фільтрування, тільки пропускається ним дрібна та середня фракції (рис. 2, графік 1).

2 Фільтр з капроновим фільтрувальним матеріалом має опір у 2-3 рази вище склотканого, спостерігався проскакування частинок дрібної фракції.

3 Фільтр з лавсановим рукавом має початковий опір, який перевищує у 5-6 разів склотканину, тканина лавсану непроникна для частинок всіх фракцій (графік 2).

4 Накопичення пилу приводить до збільшення опору та падіння швидкості фільтрування; це пов'язано з особливістю характеристики вентилятора.

5 Зниження опору лавсанової тканини та підвищення швидкості фільтрування досягається за наявності під фільтрувальним рукавом спеціальних підкладочних сіток із капрону (графік 3, 4).

6 Основна перевага фільтра з лавсановими тканинами перегородками:

- підвищена механічна міцність;
- абсолютна непроникливість для частинок пилу 1-3 мкм;
- можливість регенерації фільтрувального шару шляхом очистки, продувки стиснутим повітрям та промивкою водою.

На основі експериментальних дослідів очищення газів від пилу з використанням в'язанотканих матеріалів заводом виробником (СНПО ім. М.В.Фрунзе) була виконана реконструкція фільтра, що випускається серійно. Дослідно-промисловий зразок фільтра включає фільтрувальну перегородку, яка складається із двох шарів:

- а) підкладочної капронової сітки;
- б) лавсанової перегородки діаметром 135 мм довжиною 900 мм;
- г) діаметр решітки 135мм довжиною 900 мм;
- д) загальна поверхня фільтрування складає 0,24 м<sup>2</sup>.

Перед випробуванням дослідно-промислового фільтра були проведені розрахунки прогнозованих показників дослідно-промислового фільтра. У розрахунках використовували вихідні дані:

- робочий тиск -25 атм;
- допустима забрудненість горючих природних газів – 0,1г/100м<sup>3</sup> ;
- поверхня промислового фільтра - 0,25 м<sup>2</sup>;
- продуктивність за газом -1300 кг/год. =74 м<sup>3</sup>/год;
- густина газу при Р=25 атм - 17,0 кг/м<sup>3</sup>;
- швидкість фільтрування – 100 м/хв;
- межовий перепад тиску на запыленій тканині-0,5кг/см<sup>2</sup>.

Розрахунок прогнозованих показників проводиться з використанням залежності НДЮГАЗ [7]:

$$\frac{\Delta P_n}{V_{\phi,n}} = \frac{\Delta P_p}{V_{\phi}} + K_n \cdot q_n, \quad (1)$$

де  $\Delta P_p$  - опір чистої або регенерованої тканини, Па;

$\Delta P_n$  - опір тканини з пиловим осадом, Па;

$q_n$  - кількість пилу накопиченої при збільшенні опору від  $\Delta P_p$  до  $\Delta P_n$ , кг/м<sup>2</sup>;

$V_{\phi}$  - швидкість газу через чисту або регенеровану тканину, м/хв.;

$V_{\phi,n}$  - швидкість газу через пиловий шар та тканину, м/хв.

Коефіцієнт  $K_n$ , який характеризує структуру шару пилу в реальних умовах

роботи фільтра та називається коефіцієнтом пилового опору фільтра  $\left[ \frac{Па \cdot хв}{м \cdot кг} \right]$ .

Величина  $K_n$  змінюється у міру накопичення пилу, тому нами виконано осереднення  $K_n$ , для усіх значень пилових навантажень проведених експериментальних даних,

$$K_n = \left( \frac{P_n}{V_{\phi,n}} - \frac{\Delta P_p}{V_{\phi}} \right) q_n. \quad (2)$$

$$\text{Середнє значення } K_n \text{ склало } 96,3 \left[ \frac{Па \cdot хв}{м \cdot кг} \right].$$

Розрахунок показників промислового фільтра :  $F = 0,24 \text{ м}^2$ ;  $D = 85 \text{ мм}$ ;  $L = 900 \text{ мм}$ ;  $G = 1300 \text{ кг/год}$ . Опір фільтра до початку експлуатації або після регенерації

$$\Delta P_p = \xi_p \frac{v_\phi^2}{2} \quad (3)$$

коефіцієнт опору  $\xi_p$  визначають з лабораторних експериментальних даних  $\Delta p = 1050 \text{ Па}$ ,  $V_\phi = 27 \text{ м/хв} = 0,45 \text{ м/с}$  - показники до регенерації.

Показники після фільтрування:  $q_n = 3,5 \text{ кг/м}^2$ ;  $\Delta p = 1246 \text{ Па}$ ;  $V_\phi = 9 \text{ м/хв} = 0,15 \text{ м/с}$ .

За цими даними розраховані коефіцієнти опору фільтрів ( $\xi_p$ ,  $\xi_n$ ):

$$\xi_p = \frac{2\Delta P_p}{\rho \cdot v_{\phi.n}^2} = \frac{2 \cdot 1050}{1,21 \cdot 0,45^2} = 8568, \quad (4)$$

$$\xi_n = \frac{2\Delta P_p}{\rho \cdot v_{\phi.n}^2} = \frac{2 \cdot 1246}{1,2 \cdot 0,15^2} = 91524, \quad (5)$$

тут  $\rho = 1.21 \text{ кг/м}^3$  - густина повітря.

Прогнозовані параметри промислового фільтра на газі. Опір промислового фільтра на природному газі

$$Q = \frac{1300 \text{ кг/год}}{17 \cdot 3600} = 2013 \cdot 10^{-2} \text{ м}^3/\text{с} = 74 \text{ м}^3/\text{год},$$

$$V_\phi = \frac{Q}{F} = \frac{2.13 \cdot 10^{-2}}{0.24} = 0.84 \text{ м/с},$$

$$\Delta p = \xi_n \cdot \rho \frac{v^2}{2} = 8568 \cdot 17 \frac{0.89^2}{2} = 57686 \text{ Па}.$$

Граничний тиск на фільтрі допускається  $1 \text{ атм} = 98100 \text{ Па}$ . Гранично допустиме навантаження пилу визначається рівнянням (2):

$$q_n = \frac{\Delta P_n - \Delta P_p}{V_{\phi.n} \cdot K}.$$

Прийнято  $V_{\phi.n} = V_{\phi.p}$ . Така пропозиція можлива як наслідок великого запасу вихідного тиску газу  $P=25 \text{ атм}$ .

$$V_{\phi.n} = 0,89 \text{ м/с} = 53,4 \text{ м/хв}, \quad q_n = \frac{98100 - 57686}{53,4 \cdot 96,3} = 7,86 \text{ кг/м}^2.$$

Маса пилу накопиченого на поверхні фільтра  $F = 0,24 \text{ м}^2$ .

$$G = q_n \cdot F = 7,86 \cdot 0,24 = 1,89 \text{ кг}.$$

$$\text{Об'єм відфільтрованого газу } W = \frac{G}{0,1/100} = 1,89 \cdot 10^6 \text{ м}^3$$

Тут 0,1 на 100 м<sup>3</sup> - запиленість газу.

Прогнозуюча тривалість експлуатації промислового фільтра

$$\tau = \frac{W}{Q} = \frac{1,89 \cdot 10^6}{74} = 25540,54 \text{ годин} = 1064 \text{ діб} = 2,9 \text{ року}.$$

Дійсні параметри експлуатації промислового фільтра наведені в протоколі ВАТ "Сумського МНВО ім. М.В Фрунзе", затвердженому головним конструктором СКБТКМ 22.09.2004 р. [8].

Параметри експлуатації:

1 Початок експлуатації 16.06.2003р.:

- тиск газу на вході у фільтр  $P_{\text{вх}} = 24 \text{ кгс/см}^2$ ;
- тиск газу на виході  $P_{\text{вих}} = 23,1 \text{ кгс/см}^2$ ;
- перепад тиску  $\Delta P = 0,9 \frac{\text{кгс}}{\text{см}^2}$ ;
- витрати палива  $127439 \frac{\text{Нм}^3}{\text{добу}} = 5310 \frac{\text{Нм}^3}{\text{год}} = 3982 \frac{\text{кг}}{\text{год}}$ ;
- вага фільтра - 3780 гр;
- температура газу - 20<sup>0</sup> С.

2 Закінчення експлуатації 23.08.2004 р.:

- тиск газу на вході у фільтр  $P_{\text{вх}} = 24,1 \text{ кгс/см}^2$ ;
- тиск газу на виході  $P_{\text{вих}} = 23,2 \text{ кгс/см}^2$ ;
- перепад тиску,  $\Delta P = 0,9 \frac{\text{кгс}}{\text{см}^2} = 88290 \text{ Па}$ ;
- витрати палива  $125934 \frac{\text{Нм}^3}{\text{добу}} = 5247 \frac{\text{Нм}^3}{\text{год}} = 3935,5 \frac{\text{кг}}{\text{год}}$ ;
- вага фільтра - 3896 гр;
- температура газу - 15<sup>0</sup>С;
- напруження, год - 8782 год = 365,92 діб = 1 рік.

Маса пилу накопиченого на фільтрі  $G = 3896 - 3780 = 116 \text{ г}$ .

$$\text{Навантаження пилу на фільтрувальну тканину } q_n = \frac{G}{F} = \frac{1162}{0,24} = 483,3 \frac{\text{г}}{\text{м}^2}$$

Таким чином, загальні показники, які прогнозовані бути приблизно, але стратегічно виправдані. Основна причина цієї невідповідності була проведення випробувань дослідного фільтра на повітрі з запиленням газу борошном замість дійсних зарубок, які дуже важко створити штучно.

Крім того, деякі параметри роботи фільтра в промисловості завищені (3900 кг/год замість 1300 кг/год). Однак, в цілому, показники промислових випробувань свідчать про принципову можливість застосування в'язанотканих рукавних фільтрів, як для очищення газів у двигунах газоперекачувальних агрегатів, так і можливість їх впровадження на фільтрах газових магістралей.

## ВИСНОВКИ

1 Проведені дослідні в'язанотканих матеріалів, які мають підвищену міцність та тонкість фільтрування.

2 В'язаноткани матеріали мають підвищений опір та більш високу ефективність.

3 На основі лабораторних досліджень виконано конструювання промислових фільтрів; з використання методики НДЮГАЗ виконано прогнозування показників промислового фільтра.

4 В цілому, показники промислового фільтра свідчать про можливість використання в'язанотканих матеріалів для очищення природного газу на газових станціях та магістралях. Ці тканини мають підвищену міцність, підвищену ефективність та можливість регенерації після накопичення шару пилу.

## SUMMARY

*Knit-woven materials were put to the test. Tests determined their abnormally high solidity and fineness of filtration. Based on these results we elaborated and manufactured an industrial filter. The indicators of its exploitation showed the opportunity of using knit-woven materials in purifying gases on compressor stations and gas main pipelines.*

## СПИСОК ЛІТЕРАТУРИ

1. Кязимов К.Г. Основы газового хозяйства. -М.: ВПШ 1987, –336с.
2. Алиев Г.М. -А. Техника пылеулавливания и очистки промышленных газов. -М.: Металлургия, 1986. -544с.
3. Горяев И.К. Фильтровальные материалы для очистки газов. –М.: ЦИНТИ химнефтемаш, 1980. –30с.
4. Решидов И. К, Янковский С.С. Основные достижения в области фильтрования газов. –М.: ЦИНТИ химнефтемаш, 1981.
5. Проспект Укр. НИИПВ (Украинский научно-исследовательский институт по переработке искусственных и синтетических волокон). Киев, 2000.
6. Агрегат газоперекачивающий типа ГПА-Ц-6.3. Инструкция по эксплуатации. Киев, 1984.
7. В.Н. Ужов, А.Ю. Вальдберг, Б.И. Мягков, И.К. Решидов Очистка промышленных газов от пыли. -М.: Химия, 1981. -255с.
8. Протокол испытаний фильтрующего элемента топливного газа. ОАО "Сумское МНПО им. М.В. Фрунзе". - Сумы, 2004. –2 с.

*Надійшла до редакції 2 лютого 2006 р.*