

Зіставлення розрахункових і експериментальних значень швидкості сушіння у першому періоді N показано на рис. 7. Залежність $\tau_{кр}$ від швидкості сушіння N наведена на рис. 8 і описується рівнянням:

$$\tau_{кр} = 16000 - 1,74 \cdot 10^5 N. \quad (4)$$

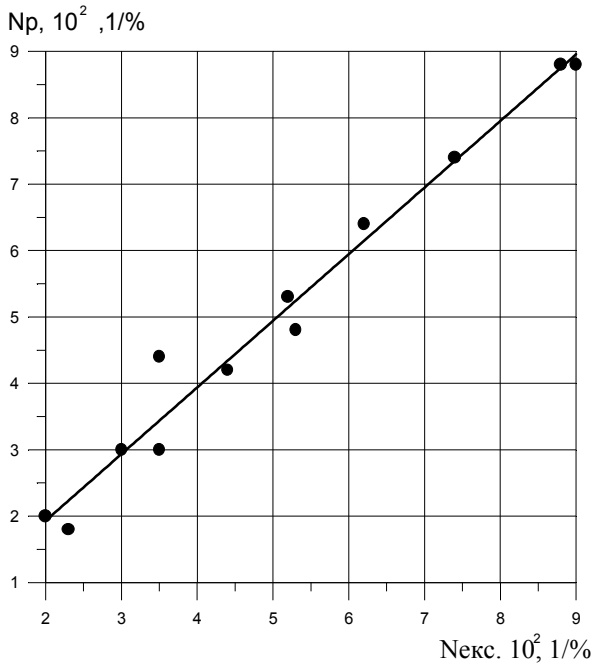


Рис. 7. Зіставлення розрахункових і експериментальних значень швидкості сушіння у першому періоді

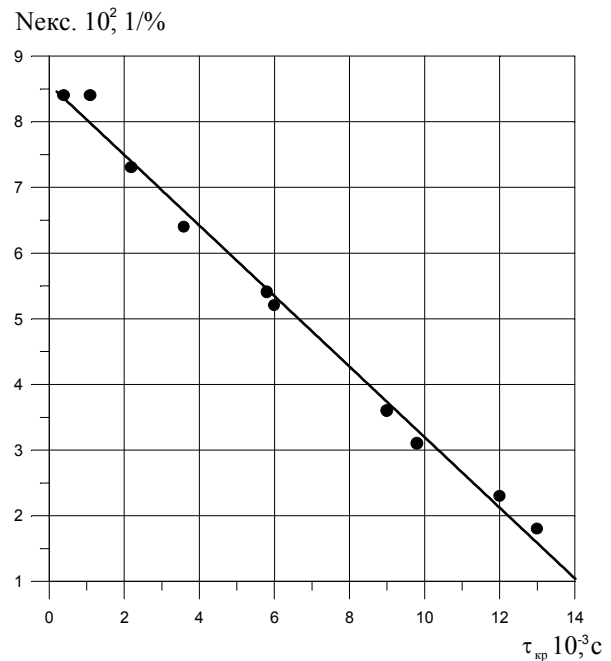


Рис. 8. Залежність $\tau_{кр}$ від швидкості сушіння N

Залежності (2), (3), і (4) дають можливість спрогнозувати кінетику сушіння і розрахувати загальний час процесу в залежності від параметрів теплоносія і геометрії шару матеріалу.

УДК 621.928.9

В.П. Куц, О.М. Марціяш

Державний технічний університет імені Івана Пулюя, м. Тернопіль

ВИЗНАЧЕННЯ ЕФЕКТИВНОСТІ ОЧИЩЕННЯ В ЦИКЛОНІ З СТУПЕНЕВИМ ВІДВЕДЕННЯМ ПИЛУ

© Куц В.П., Марціяш О.М., 2004

Наводяться результати експериментальних досліджень створеного авторами нового пиловловлюючого апарата.

The authors who created the new dust catcher device represented the results of experimental researches.

Постановка проблеми. Із збільшенням обсягів виробничої діяльності людства загострюється проблема негативного впливу відходів цієї діяльності на навколишній світ. Це спонукає до розроблення безвідходних виробничих технологій, нових методів і апаратів очищення технологічних і побутових викидів, вдосконалення існуючого очисного обладнання.

Серед значної кількості методів і апаратів очищення пилогазових потоків важливе місце належить апаратам сухого інерційного очищення, найпоширенішими з яких є циклони. І хоч ці апарати появились ще в XIX ст., однак завдяки простоті конструкції і експлуатації, надійності і порівняній дешевизні, порівняно значній ефективності очищення і порівняно незначному гідравлічному опору знаходять широке застосування і тепер.

Аналіз останніх досліджень і публікацій показує, що не припиняються пошуки шляхів вдосконалення циклонних апаратів, основною метою яких є підвищення ефективності і зниження гідравлічного опору. Причому дослідження проводяться як у напрямку досягнення оптимальних режимних параметрів, так і в напрямку вдосконалення конструкції апарата і його окремих елементів.

Одним із успішних шляхів вдосконалення циклонних пиловловлювачів, що дозволяє покращити показники його роботи, є створення апаратів, в яких поєднані принципи дії циклонних і жалюзійних апаратів [1]. Як свідчать результати експериментальних і теоретичних досліджень такого пиловловлювача [2], він переважає циклони як за величиною ефективності пиловловлювача, так і за величиною гідравлічного опору.

Вдалим технічним розв'язанням є проміжний відвід частинок пилу разом з частиною повітряного потоку із сепараційної зони [3]. В такому пиловловлювачі також досягається покращання показників роботи порівняно з базовим апаратом його конструкції – циклоном ЦН – 15[4].

Постановка завдання. На основі аналізу конструкцій і принципів дії цих та інших циклонних пиловловлювачів з метою підвищення ефективності очищення авторами був запропонований пиловловлювач, в якому вдалось поєднати кращі сторони цих апаратів, а саме поєднати в одному апараті принципи дії циклонних і жалюзійних пиловловлювачів і здійснювати ступеневий відвід частинок типу в бункер по висоті апарата [5].

Особливістю, що відрізняє цей апарат від відцентрово-інерційного пиловловлювача з жалюзійним відводом повітря [1], є те, що в ньому передбачено відвід частинок пилу по висоті апарата в трьох місцях: перший – при переході циліндричної частини корпусу в конічну, другий – на половині висоти конічної частини корпусу, третій – внизу конічної частини, де встановлений випускний клапан. Відмінністю від циклона з проміжним відведенням твердої фази [3] є те, що відвід частинок здійснюється через кільцеві зазори, а не через вертикальні прорізи, і для відводу цих частинок не забирається частина повітряного потоку.

Створений пиловловлювач повинен, за задумом авторів, підвищити ефективність очищення за рахунок зменшення концентрації частинок пилу біля стінок корпусу, а отже, зменшити ймовірність підсмоктування їх потоком очищеного газу, а також зменшити винос частинок з нижньої частини апарата потоком очищеного газу, що піднімається.

Перевірити достовірність цих припущень і теоретичних задумів, прийнятих при створенні апарата такої конструкції, можна лише проведенням експериментальних досліджень згідно з вимогами рекомендованої для такого класу обладнання методики.

Згідно з вимогами цієї методики в ході експериментальних досліджень для всіх видів пиловловлювачів визначаються їх основні технічні показники: гідравлічний опір Δp і загальний ступінь очищення η . Дослідження проводиться у два етапи: спочатку на незапиленому повітрі визначається гідравлічний опір пиловловлювача і досліджується вплив на його величину режимних і конструктивних параметрів, а потім визначаються ефективність очищення і досліджується вплив на її величину тих самих параметрів з використанням регламентованого методикою стандартного пилу.

Суть і результати експериментальних досліджень із визначення гідравлічного опору створеного пиловловлювача викладені в [6].

Послідовність, особливості і результати експериментальних досліджень із визначення ефективності очищення в цьому апараті висвітлюються у статті.

Для проведення досліджень виготовлений пиловловлювач діаметром 0,4 м. Його оптимальна продуктивність становить $0,44 \text{ м}^3/\text{с}$ ($1600 \text{ м}^3/\text{год}$). Коефіцієнт живого перерізу жалюзійної решітки $k_p = 0,4$.

Дослідження проводились на експериментальному стенді, схема якого зображена на рис. 1. Основним обладнанням стенда є вентилятор середнього тиску продуктивністю $0,55 \text{ м}^3/\text{с}$ ($2000 \text{ м}^3/\text{год}$), пиловловлювач, що досліджується, вимірювальні прилади (пневмометричні трубки, дифманометри), пристрій подачі пилу. На вході в пиловловлювач і на виході з нього передбачені прямі ділянки трубопроводів однакового діаметра за довжиною, більшою за 10 діаметрів, для встановлення вимірювальних приладів.

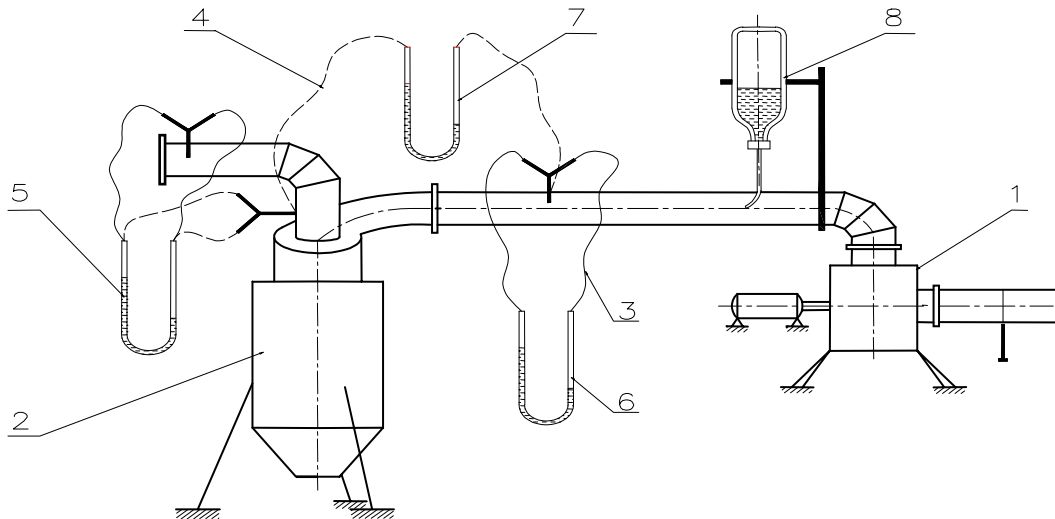


Рис. 1. Схема експериментального стенда:
1 – вентилятор; 2 – пиловловлювач; 3, 4 – пневмометричні трубки;
5, 6, 7 – дифманометри, 8 – пилоподавач

Як експериментальний пил використовувався кварцовий пил густиною $\rho = 2650 \text{ кг}/\text{м}^3$ з медіанним діаметром 8 мкм. Для визначення дисперсного складу цього пилу, а також пилу, вловленого в створеному пиловловлювачі, використовувався спосіб, розроблений авторами [7]. За точністю визначення він не поступається одному з найпоширеніших методів седиментаційного аналізу – методу з використанням приладу з підйомною піпеткою, однак значно (більше ніж в 10 разів) скорочує час проведення аналізу.

Дослідження проводились при шести значеннях витрати пилогазового потоку: $0,167 \text{ м}^3/\text{с}$ ($600 \text{ м}^3/\text{год}$), $0,25 \text{ м}^3/\text{с}$ ($900 \text{ м}^3/\text{год}$), $0,333 \text{ м}^3/\text{с}$ ($1200 \text{ м}^3/\text{год}$), $0,417 \text{ м}^3/\text{с}$ ($1500 \text{ м}^3/\text{год}$), $0,472 \text{ м}^3/\text{с}$ ($1700 \text{ м}^3/\text{год}$) і $0,514 \text{ м}^3/\text{с}$ ($1850 \text{ м}^3/\text{год}$). Вхідна швидкість пилогазового потоку при таких значеннях витрат становила 10,9 м/с, 16,28 м/с, 21,68 м/с, 27,16 м/с, 30,76 м/с і 33,46 м/с відповідно, а швидкість в поперечному перерізі (плані) апарата 1, 74 м/с, 2,6 м/с, 3,47 м/с, 4,34 м/с, 4,92 м/с і 5,35 м/с відповідно.

Швидкість проходження очищеного повітря через решітку при таких значеннях витрати становила 1,74 м/с, 2,6 м/с, 3,47 м/с, 4,34 м/с, 4,92 м/с і 5,35 м/с відповідно.

При цих самих значеннях витрати визначався гідравлічний опір пиловловлювача на першому етапі експериментальних досліджень.

Важливим питанням при проведенні експериментальних досліджень із визначення ефективності очищення є забезпечення рівномірної подачі і заповнення перерізу повітропроводу запиленним повітряним потоком із заданою концентрацією. При початковій концентрації пилу в повітряному потоці, що надходить в апарат, $Z_n = 3 \text{ г}/\text{м}^3$ з відхиленнями, які не повинні відрізнятись більш ніж на 20 %, при зміні витрати повітряного потоку від $0,167 \text{ м}^3/\text{с}$ до $0,514 \text{ м}^3/\text{с}$. Пилоподавач повинен забезпечувати рівномірну подачу початкового пилу в кількості від 0,3 кг до 0,925 кг упродовж 10 хв, регламентованих методикою.

З врахуванням конструктивних особливостей і показників роботи існуючих пилоподавачів, а також варіантів їх вдосконалення було розроблено пилоподавач власної конструкції, який забезпечував необхідні вимоги як з погляду кількості поданого пилу, так і з погляду рівномірності подачі, але був значно простіший за конструкцією.

Частина обладнання експериментального стенда при визначенні ефективності пиловловлювання зумовлюється методом її визначення.

Так, якщо ефективність очищення визначається за концентраціями пилу у вхідному потоці і потоці, який виходить з апарата, то виникає питання про вибір методу і апаратури для відбору пилових проб із повітропроводів. При цьому визначальну роль відіграє поставлена мета – визначити тільки концентрацію пилу в повітряному потоці чи одночасно із визначенням концентрації одержати наважку пилу, достатню для проведення вагового аналізу дисперсного складу пилу. Тривалість відбору пилової проби зумовлюється мінімальною величиною необхідної наважки, концентрацією пилу і витратою повітря, яке відсмоктується приладом.

Відбір пилових проб, крім того, зумовлюється також співвідношенням площ перерізів повітропроводів і фільтрувальних пристроїв, тобто застосовується метод внутрішньої або метод зовнішньої фільтрації.

Оскільки в циклоні, який досліджувався, проходить остаточне відділення частинок пилу із повітряного потоку, а отже, є можливість оцінювати ефективність пиловловлювання в ньому за співвідношенням мас вловленого і поданого пилу, немає необхідності визначати концентрації пилу у потоці, що надходить в апарат, і в потоці, який з нього виходить, методом відбору пилових проб, бо це не тільки ускладнює процес досліджень, але і вносить похибки в результати, особливо при застосуванні методу внутрішньої фільтрації.

Експериментальні дослідження створеного циклона із ступеневим відведенням пилу проводились в такій послідовності:

1. До початку досліджень проводився огляд і перевірка відповідності конструкції пиловловлювача і його розмірів технічній документації.
2. Після монтажу апарата і експериментального стенда тарувались контрольно-вимірювальні прилади.
3. Визначалась витрата повітря, яке може підсмоктуватись через нещільності в трубопроводах і в апараті, визначенням витрат повітря до апарата і за ним, і вживались заходи із ліквідації можливих нещільностей.
4. Розраховувався час проведення дослідів для кожної із встановлених витрат повітря, вираховуючи величину необхідної наважки пилу, заданої початкової концентрації пилу і встановленої витрати повітря.
5. Для кожного режиму (витрати повітря) проводилось не менше трьох дослідів. При розходженні між значеннями в цих дослідів по виносу пилу більшому, ніж допускається методикою, проводились додаткові досліді.

Під час досліджень створеного пиловловлювача для визначення ефективності очищення в ньому замірялись або розраховувались такі параметри:

1. Витрата пилоповітряного потоку. Під час досліджень змінювалась від 0,167 до 0,514 м³/с. Як вимірювальні прилади застосовувались пневмометричні трубки, під'єднані до дифманометрів.
2. Швидкість руху пилоповітряного потоку у вхідному патрубку циклона. Величина розрахункова.
3. Швидкість руху пилоповітряного потоку в поперечному перерізі (плані) апарата. Величина розрахункова.
4. Кількість пилу, що надходить в пиловловлювач. Змінювалась під час досліджень від 0,3 кг до 0,925 кг.
5. Початкова концентрація пилу в повітряному потоці, який надходить в апарат. Величина постійна, $Z_n = (3 \pm 20\%) \text{ г/м}^3$.
6. Тривалість проведення дослідів. Розраховувалась, враховуючи встановлену витрату повітря і початкової концентрації пилу в потоці на вході в апарат.

7. Кількість вловленого в апараті пилу. Визначалась зважуванням на вагах.

8. Кінцева концентрація пилу в повітряному потоці, який виходить з апарата. Величина розрахункова.

9. Параметри повітря в приміщенні стенда: температура, відносна вологість, барометричний тиск. Як вимірювальні прилади застосовувались термометр, психрометр, барометр-анероїд метеорологічний.

10. Ефективність очищення. Величина розрахункова.

Після закінчення кожного дослідження пиловловлювач і всі трубопроводи до зупинки вентилятора простукувались стержнем з резиновим наконечником для усунення можливих відкладень пилу.

Проведення у повній відповідності з вимогами методики експериментальних досліджень дозволило отримати результати, що не викликають сумнівів у їх достовірності і придатні для порівняльної оцінки з іншими пиловловлювальними апаратами.

За результатами досліджень були побудовані графіки залежностей ефективності пиловловлювання η від швидкості пилоповітряного потоку на вході в апарат $w_{вх.}$ (рис. 2), від швидкості цього потоку в поперечному перерізі (плані) апарата $w_{пл.}$ (рис. 3), від швидкості проходження повітря через жалюзійну решітку w_p (рис. 4), від продуктивності Q (рис. 5), залежності між ефективністю і гідравлічним опором Δp (рис. 6).

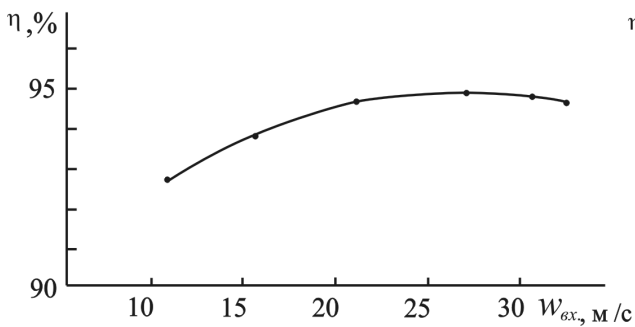


Рис. 2. Графік залежності ефективності пиловловлювання від швидкості потоку на вході в апарат

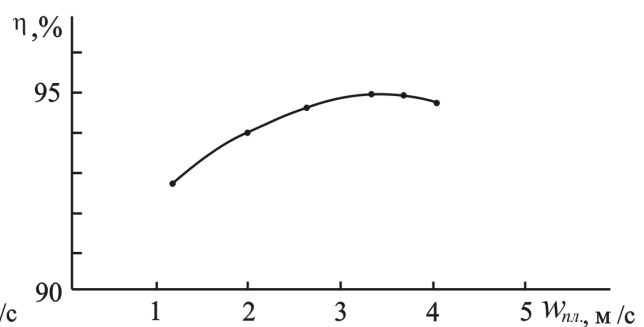


Рис. 3. Графік залежності ефективності пиловловлювання від швидкості в перерізі (плані) апарата

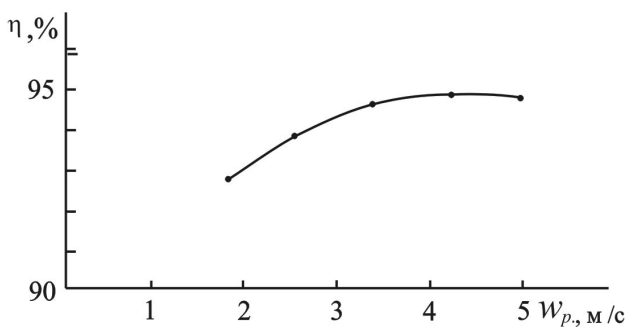


Рис. 4. Графік залежності ефективності пиловловлювання від швидкості проходження повітря через жалюзійну решітку

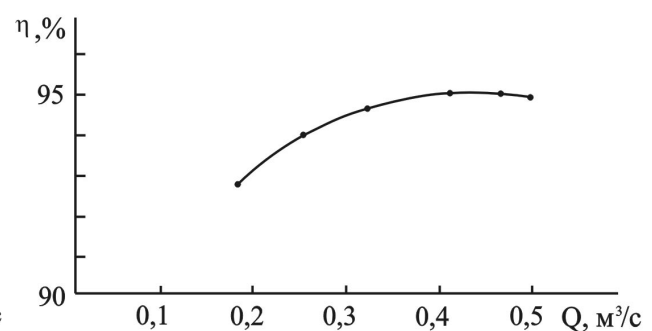


Рис. 5. Графік залежності ефективності пиловловлювання від продуктивності

Хоч характер залежностей на цих графіках подібний, кожна з них містить інформацію, без якої важко судити про створений пиловловлювач повною мірою, і лише в комплексі ці залежності вичерпно характеризують створений апарат.

Так за величиною вхідної швидкості пилоповітряного потоку на вході в апарат (рис. 2) можна визначити відцентрову силу, яка виникає в ньому і є визначальним фактором очищення у відцентрових пиловловлювачах.

При розрахунках конструкцій відцентрових пиловловлювачів беруть до уваги оптимальні значення швидкості потоку в поперечному перерізі (плані) апарата. Для створеного апарата це значення можна визначити за графіком (рис. 3).

Оптимальне значення проходження повітря через жалюзійну решітку є важливим фактором ефективної роботи жалюзійних пиловловлювачів. Для створеного пиловловлювача, в якому використана жалюзійна решітка з коефіцієнтом живого перерізу $k_p=0,4$, це значення повинно бути близьким до 5 м/с [2]. Чи вдалось цього досягнути в створеному пиловловлювачі, можна судити із залежності ефективності від швидкості проходження повітря через жалюзійну решітку (рис. 4).

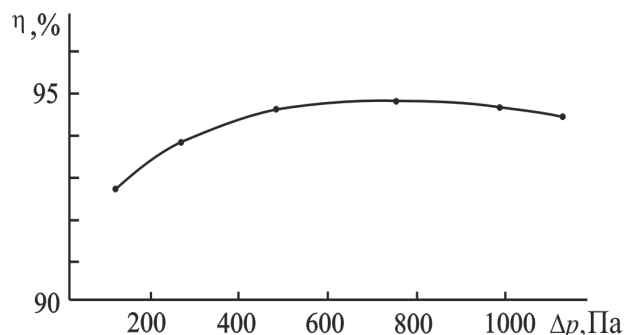


Рис. 6. Графік залежності між ефективністю пиловловлювання і гідравлічним опором

Залежність на рис. 5 зручна для порівняння ефективності створеного апарата з ефективністю інших подібних апаратів, бо вона, на відміну від залежностей 2 і 3, містить ще й інформацію про розміри пиловловлювача.

Графік залежності між ефективністю пиловловлювання і гідравлічним опором (рис. 6) важливий з погляду оцінки затрат на процес очищення. Дуже часто саме на основі таких залежностей на практиці роблять вибір на користь того чи іншого пиловловлювального обладнання.

Порівнюючи результати проведених експериментальних досліджень створеного циклона з ступеневим відведенням пилу з результатами проведених за такою самою методикою експериментальних досліджень відцентрово-інерційного пиловловлювача з жалюзійним відводом повітря [2], можна зробити висновок про те, що ефективність очищення в створеному апараті вища, ніж у вказаному пиловловлювачі. Це означає, що обраний шлях вдосконалення пиловловлювального обладнання є перспективним, потребує подальшого вивчення та дослідження, створення циклона із ступеневим відведенням пилу є доцільним, і такі апарати можуть з успіхом використовуватись там, де застосовуються “сухі циклони”.

1. А. с. 598623 СССР, В01Д 45/00. Центробежно-инерционный пылеотделитель / А.И. Чернявский, В.А. Батлук, В.П. Куц. – Оpubл. 25.03.78, Бюл. 11, 1978. – С. 14–18. 2. Куц В.П. Повышение эффективности пылеулавливания в центробежно-инерционных пылеотделителях с жалюзийным отводом воздуха: Дис. ...канд. техн. наук: 05.17.08.-Львов, 1986. – 221 с. 3. Пат. 20205А Україна, 6 В04С5/103. Циклон / А.І. Дубинін, В.В. Майструк, О.М. Креховецький. – Оpubл. 27.02.98, Бюл. “Промислова власність”. № 1. 4. Майструк В.В. Розділення запиленних газів в циклонах з ступеневим відведенням твердої фази: Дис. ...канд. техн. наук: 05.17.08. – Львів, 2000. – 161 с. 5. Пат. 62320 А Україна, 7 В04С3/06. Циклон підвищеної ефективності з ступеневим відведенням твердої фази / В.П. Куц, О.М. Марціяш, Я.Д. Ярош. – Оpubл. 15.12.03, Бюл. № 12. – 2 с. 6. Куц В.П., Марціяш О.М., Ярош Я.Д. Визначення гідравлічного опору циклона з ступеневим відведенням твердої фази // Вісн. Сумського держ. ун-ту. Сер. Технічні науки (Машинобудування). – Суми, 2003. № 12(58). – С. 98–102. 7. Пат. 59094А Україна, 7 G01N15/04. Спосіб визначення дисперсного складу порошкоподібного матеріалу / В.П. Куц, В.Б. Каспрук, Я.Д. Ярош, О.М. Марціяш. – Оpubл. 15.08.03. Бюл. № 8. – 2 с.