

ЗМІСТ

СКОРОЧЕННЯ ТА УМОВНІ ПОЗНАКИ.....	4
ВСТУП	6
РОЗДІЛ 1 АНАЛІТИЧНИЙ ОГЛЯД ВІДОМИХ КОНСТРУКЦІЙ ВИХРОВИХ ПИЛОВЛОВЛЮВАЧІВ	7
1.1 Конструкції і принцип дії вихрових пиловловлювачів	7
1.2 Апарати прямоточного типу	12
1.3 Апарати із зустрічними закрученими потоками	16
1.4 Аеродинаміка вихрових пиловловлювачів	17
1.5 Типова конструкція циліндричного вихрового апарата	26
РОЗДІЛ 2 ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНА ЧАСТИНА	28
2.1 Експериментальний стенд	28
2.2 Ефективність пиловловлювання	29
2.3 Обробка та обговорення результатів досліджень	33
РОЗДІЛ 3 АНАЛІЗ ПРОВЕДЕНИХ ДОСЛІДЖЕНЬ	36
3.1 Конструювання промислових моделей вихрових пиловловлювачів	36
3.2 Основні напрямки конструктивної модернізації вихрових пиловловлювачів	38
3.3 Напрямки застосування вихрових апаратів	44
РОЗДІЛ 4 ОХОРОНА ПРАЦІ	47
ВИСНОВКИ	56
ПЕРЕЛІК ДЖЕРЕЛ ПОСИЛАННЯ	57

СКОРОЧЕННЯ ТА УМОВНІ ПОЗНАКИ

Геометричні розміри вихрового апарата

D_0 – діаметр сепараційної камери, м ;

r_0 – радіус сепараційної камери, м ;

r_1 – радіус витиснювача первинного завихрителя, м ;

r_2 – радіус завихрителя первинного потоку, м ;

r_3 – радіус розмежування потенційного та вихрового потоків, м ;

r_4 – радіус вихідного патрубку, м ;

r, r_i – поточний радіус, м ;

H – висота сепараційної камери, м ;

z – поточне значення висоти, м ;

a, b – висота і ширина вхідного каналу завихрителя, м.

Параметри потоків

L_0 – загальна витрата повітря через апарат, м³/с ;

L_1 – витрата повітря через первинний канал, м³/с ;

L_2 – витрата повітря через вторинний канал, м³/с ;

V_z – осьова складова швидкості, м/с ;

V_r – радіальна складова швидкості, м/с ;

V – тангенціальна складова швидкості, м/с ;

ω – кутова швидкість обертання потоку, с⁻¹ ;

$\omega(z)$ – поточне значення кутової швидкості потоку, с⁻¹ ;

C_0 – характерна швидкість обертання потоку у вихідному патрубку, с

Q – параметр ефективного закручування потоку ;

np – конструктивний параметр закручування на виході з завихрителя ;

u – функція струму закрученого потоку ;

$e = L_2 L_3$ – співвідношення витрати повітря по вхідних каналах вихрового апарата ;

$k = L_2 L_3$ – кратність витрати потоків ;

kI – коефіцієнт кореляції ;
 x – коефіцієнт гідравлічного опору ;
 $t_{\text{гм}}$ – динамічна в'язкість газу, Па·с ;
 $\nu_{\text{г}}$ – кінематична в'язкість газу, Н·с/м² ;
 D_p – гідравлічний опір, Па ;
 G – масова витрата газу, кг/с ;
 $t_{\text{г}}$ – густина газу в робочих умовах, кг/м³ ;
 a – прискорення частинки пилу, м/с² ;
 R – радіус устя сопла, м ;

Характеристика частинок пилу

$F_{\text{ц}}$ – відцентрова сила, що діє на частинку ;
 F_c – сила лобового опору, Н ;
 m – маса, кг ;
 $d_{\text{ч}}(e)$ – еквівалентний діаметр частинки, мкм ;
 $d50(m)$ – медіанний (середній) розмір частинки пилу, мкм ;
 $\rho_{\text{ч}}$ – щільність матеріалу частинки пилу, кг/м³ ;
 σ_n – дисперсія розподілу твердих частинок ;
 h_o – загальна ефективність пиловловлювання, % ;
 $h_{\text{ф}}$ – фракційна ефективність пиловловлювання, % ;
 $Z_{\text{вх}}, Z_{\text{вих}}$ – запиленість потоку на вході та виході відповідно, г/м³ ;
 ε – ступінь виносу пилу з вихрового апарата ;
 $\rho_{\text{г}}$ – густина газу, кг/м³ ;

Скорочення

ВАЗЗП Вихровий апарат із зустрічними закрученими потоками
 ВАЗЗПЦ Вихровий апарат із зустрічними закрученими потоками з
 циліндричною сепараційною камерою
 КММО Контактний модуль мокрого очищення

ВСТУП

Проблеми захисту атмосферного повітря від забруднень твердими промисловими викидами і вирішення проблем технічного переозброєння багатьох галузей хімічної, металургійної промисловості та виробництв будівельних матеріалів є на даний час найважливішими екологічними проблемами, що зачіпають в тій чи іншій мірі всі країни світу. Необхідність вживання термінових і ефективних заходів з охорони довкілля закріплена 16 статтею Конституції України.

Згідно вимог Кіотського протоколу, до якого приєдналася і Україна, останнім часом значно зріс науковий і практичний інтерес до оперативного розв'язання існуючих та знову виникаючих екологічних проблем, пов'язаних з викидами промислових газів, що призводять до зростання парникового ефекту, у тому числі й запыошених потоків, проблем, які цілком або частково вирішуються за допомогою новітніх конструкцій сухих та мокрих пиловловлювачів відцентрового типу, призначених як для попереднього, так і санітарного очищення забруднених промислових викидів, зокрема, високопродуктивними і високоефективними циклонами та вихровими пиловловлювачами.

Технологічне обладнання природоохоронного призначення, зокрема аспіраційні установки для очищення забрудненого пилом повітря, на багатьох промислових підприємствах останнім часом інтенсивно піддаються корінній реконструкції з метою інтенсифікації процесів, що проводяться, підвищення пропускну здатності, зниження енергоспоживання, зменшення габаритів та витрат на технічне обслуговування. Ще більше джерел запыошених викидів потребують термінової реконструкції та модернізації.

На підприємствах хімічної галузі і виробництвах будівельних матеріалів проблеми знепыошання забруднених повітряних потоків вирішуються в основному за рахунок систем аспірації, до складу яких в якості першого ступеня очищення залучаються апарати циклонного типу, загальна

ефективність роботи яких на даний час вже не може цілком відповідати сучасним нормам промислових викидів [1–6]. Тому істотна конструктивна модернізація існуючих систем природоохоронного призначення, дослідження гідродинаміки та розробка апаратури нового покоління у сукупності з надійними інженерними методами вибору та розрахунку є актуальною задачею.

На відміну від однопоточних циклонів, які призначені виключно для здійснення одного процесу – сухого або мокрого очищення заповнених потоків, вихрові апарати із зустрічними закрученими потоками (ВАЗЗП), завдяки особливостям гідродинаміки (підвищеним якісним показникам, здатності до створення в них різних за характером і активністю керованих гідродинамічних режимів), можуть використовуватись для проведення багатьох, у тому числі і поєднаних технологічних процесів.

Більш надійне прогнозування ефективності роботи проєктованих сухих пиловловлювачів є важливою науково-технічною задачею. У більшості випадків чисто емпіричні методи розрахунків мають досить вузьку застосовність, часто не враховують найважливіших технологічних аспектів та геометричних параметрів апаратів, а також у достатній мірі гідродинамічну структуру потоків безпосередньо в сепараційній камері вихрового пиловловлювача.

Для проєктного розрахунку вихрового апарата при призначенні його для роботи в якості конкретного технологічного пристрою, потрібно мати відповідні початкові дані, до складу яких входять насамперед аеродинамічні параметри, у тому числі швидкості: осьові, радіальні, тангенціальні і кутові. Знання поля цих швидкостей, а також характер їх розподілу в робочому просторі вихрового апарата в залежності від конструктивних особливостей інших функціональних елементів, дає можливість на початкових стадіях проєктування мати більш вичерпну інформацію щодо характеру гідродинаміки і, як кінцевий результат, більш якісних показників вихрового апарата в реальних умовах експлуатації.

Враховуючи, що чисто емпіричний пошук напрямків конструктивного удосконалення відцентрових пиловловлювачів (циклонів та ВАЗЗП) зазвичай не приводить до позитивних результатів, актуальними являються теоретичні дослідження гідродинаміки закручених потоків, а також глибоке вивчення характеру впливу на неї вихідних пристроїв. Важливі, але часто обмежені відомі дані щодо певної залежності гідродинаміки і ступеня ефективності пиловловлювання від режимно-конструктивних параметрів відцентрових апаратів, носять досить суперечливий характер і не дозволяють використати їх для практичного втілення. Необхідні більш поширені дослідження з визначення можливостей з підвищення ефективності пиловловлювання безпосередньо після вихідного патрубка вихрового апарата. Тільки загальна систематизація відомих і узагальнення нових даних, що базуються на теоретичних та експериментальних дослідженнях, дозволить вийти на більш високі техніко-економічні показники роботи відцентрових пиловловлювачів.

РОЗДІЛ 1

АНАЛІТИЧНИЙ ОГЛЯД ВІДОМИХ КОНСТРУКЦІЙ ВИХРОВИХ ПИЛОВЛОВЛЮВАЧІВ

1.1 Конструкції і принцип дії вихрових пиловловлювачів

З різновидів пиловловлювачів відцентрової дії вихрові апарати мають найкоротшу біографію, дослідження гідродинаміки та конструювання їх почалися з середини 50-х років минулого століття в Німеччині.

На виробництвах будівельних матеріалів проблеми знепилювання забруднених повітряних потоків вирішуються в основному за рахунок систем аспірації, до складу яких в якості першого ступеня очищення залучаються апарати циклонного типу, загальна ефективність роботи яких на даний час вже не може цілком відповідати сучасним нормам промислових викидів [1–6]. Тому істотна конструктивна модернізація існуючих систем природоохоронного призначення, дослідження гідродинаміки та розробка апаратури нового покоління у сукупності з надійними інженерними методами вибору та розрахунку є актуальною задачею.

На відміну від однопоточних циклонів, які призначені виключно для здійснення одного процесу – сухого або мокрого очищення запоорошених потоків, вихрові апарати із зустрічними закрученими потоками (ВАЗЗП), завдяки особливостям гідродинаміки (підвищеним якісним показникам, здатності до створення в них різних за характером і активністю керованих гідродинамічних режимів), можуть використовуватись для проведення багатьох, у тому числі і поєднаних технологічних процесів.

Більш надійне прогнозування ефективності роботи проєктованих сухих пиловловлювачів є важливою науково-технічною задачею. У більшості випадків чисто емпіричні методи розрахунків мають досить вузьку застосовність, часто не враховують найважливіших технологічних аспектів та геометричних параметрів апаратів, а також у достатній мірі гідродинамічну

структуру потоків безпосередньо в сепараційній камері вихрового пиловловлювача.

Для проектного розрахунку вихрового апарата при призначенні його для роботи в якості конкретного технологічного пристрою, потрібно мати відповідні початкові дані, до складу яких входять насамперед аеродинамічні параметри, у тому числі швидкості: осьові, радіальні, тангенціальні і кутові. Знання поля цих швидкостей, а також характер їх розподілу в робочому просторі вихрового апарата в залежності від конструктивних особливостей інших функціональних елементів, дає можливість на початкових стадіях проектування мати більш вичерпну інформацію щодо характеру гідродинаміки і, як кінцевий результат, більш якісних показників вихрового апарата в реальних умовах експлуатації.

Враховуючи, що чисто емпіричний пошук напрямків конструктивного удосконалення відцентрових пиловловлювачів (циклонів та ВАЗЗП) зазвичай не приводить до позитивних результатів, актуальними являються теоретичні дослідження гідродинаміки закручених потоків, а також глибоке вивчення характеру впливу на неї вихідних пристроїв. Важливі, але часто обмежені відомі дані щодо певної залежності гідродинаміки і ступеня ефективності пиловловлювання від режимно-конструктивних параметрів відцентрових апаратів, носять досить суперечливий характер і не дозволяють використати їх для практичного втілення.

Необхідні більш поширені дослідження з визначення можливостей з підвищення ефективності пиловловлювання безпосередньо після вихідного патрубку вихрового апарата. Тільки загальна систематизація відомих і узагальнення нових даних, що базуються на теоретичних та експериментальних дослідженнях, дозволить вийти на більш високі техніко-економічні показники роботи відцентрових пиловловлювачів.

Перша ідея вихрового пиловловлювача (ВП) виникла при проведенні дослідів з коагуляції деяких видів пилу в закручених (вихрових) потоках. В процесі дослідження за певних умов дослідів був виявлений ефект осадження

дрібнодисперсних частинок пилу на стінки лабораторної моделі апарата. Німецьких дослідників Е. Шауфлера і Х. Ценнека зацікавив цей ефект, вони виготовили і випробували першу модель ВП з номінальною витратою повітря близько $12 \text{ м}^3/\text{год}$. Автори запатентували ідею і почали всебічні дослідження нового пиловловлювача, результати яких були опубліковані в 63–65 роках минулого століття, і свідчили про перспективність інноваційної розробки. Відомі на даний час основні концептуальні варіанти вихрових пиловловлювачів у їх розвитку можна прослідкувати по рис. 1.1.

Перші практичні спроби використовувати закручений потік повітря для осадження дрібнодисперсних частинок пилу були проведені на моделі діаметром $0,075 \text{ м}$, а для відпрацювання режимно-конструктивних параметрів була виготовлена модель з діаметром сепараційної камери $0,2 \text{ м}$ (рис.1.1, а), яка вважається першою конструкцією вихрового апарата із вторинним потоком газу. Запилений потік подавався прямою потоком по осьовому патрубку знизу вгору, в сепараційній камері закручувався потоком чистого повітря, що надходив через хордально встановлене й нахилене до осі сопло.

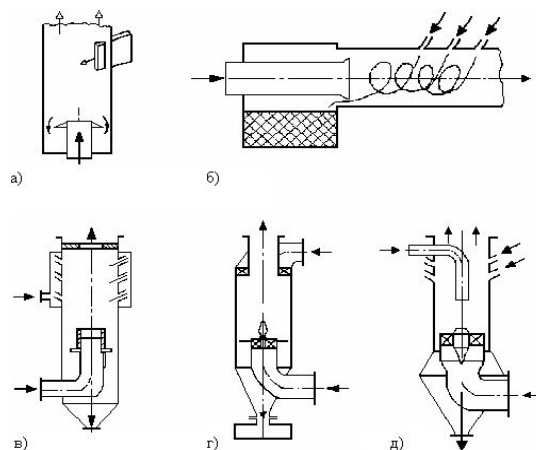


Рисунок 1.1 – Основні концепції конструктивного оформлення вихрових апаратів із вторинним потоком газу

На цій конструкції апарата були відпрацьовані геометричні співвідношення розмірів та основних параметрів функціональних елементів : площа перерізу та кут нахилу сопла, висота сепараційної зони. На моделі $D_a = 0,45 \text{ м}$ заввишки $H = 3 \text{ м}$, причому горизонтально орієнтованій (рис. 1.1, б), була

передбачена вже змінна кількість сопел [21, 22].

Подальші дослідження дозволили внести деякі важливі конструктивні удосконалення. Так, при прямоточній подачі первинного потоку по осі апарата, його закручування здійснювалось вгорі через загальний колектор розподіленим сопловим вводом вторинного потоку. При цьому були визначені оптимальні параметри потоків та висота сепараційної камери (рис. 1.1, в). Закрутка первинного потоку за допомогою розеточного завихрителя і подача назустріч йому вторинного потоку, тепер вже у вигляді зосередженого (рис. 1.1, г), було революційним технічним рішенням. Цю конструкцію вважають першою моделлю апарата із зустрічними закрученими потоками з циліндричною сепараційною камерою. У подальшому за базову була прийнята модель вихрового апарата (ВА) із розподіленим сопловим вторинним потоком (рис. 1.1, д) і подачею зверху ще й третього потоку, який на думку дослідників сприяв витісненню дрібних частинок пилу до стінки сепараційної камери.

За кінцевими результатами лабораторних випробувань були зроблені важливі висновки. По-перше, що просторова орієнтація сепараційної камери пиловловлювача практично не впливає на загальну ефективність пиловловлювання. По-друге, що збільшення діаметру сепараційної камери, у порівнянні з першими моделями, не спричинило за собою істотного зниження загальної ефективності роботи пиловловлювача. По-третє, що збільшення кількості сопел вторинного повітря сприяє значному підвищенню ефективності сепарації частинок пилу та зниженню питомих енергетичних витрат.

Наступні випробування моделі апарата з діаметром сепараційної камери $D_a = 0,500$ м на електростанції копальні «Bergmannsgluk» [23, 24] були вже напівпромисловими. Апарат був розрахований на загальну витрату запиленого повітря $L = 2000$ $\text{м}^3/\text{г}$, а для подачі вторинного потоку використовувалося вже 9 сопел з умовним прохідним перерізом $d_y = 30$ мм.

При перепаді тиску вторинного повітря $p = 2000$ Па і вхідній концентрації пилу $z_{вх.} = 20$ $\text{г}/\text{м}^3$ була досягнута загальна ефективність пиловловлювання на

рівні = 90 %.

Подальші систематичні лабораторні дослідження різних моделей вихрових апаратів із вторинним потоком [25] дозволили винайти більш вдосконалений пиловловлювач з діаметром сепараційної камери $D_a \approx 0,5$ м, розрахований вже на продуктивність $L = 4000$ м³/год.

У порівнянні з попереднім варіантом нова конструкція ВА була постачена декількома соплами зі змінною геометрією і різними кутами нахилу.

За результатами подальших досліджень фірма «Luftpoldhutte A.G.» випускала типорозмірний ряд ВА, які конструктивно схожі з однопоточними циклонами, проте потоку запошеного повітря надавалось додаткове обертання вторинними струменевими потоками з системи нахилених сопел.

Пиловловлювач із вторинним потоком газу (рис. 1.1, в), був запатентований фірмою «Siemens A.G.», а по ліцензії цієї фірми «Lufttechnik Baurenth» і американська «Aeradyne Development» на той час виготовляли типорозмірний ряд ВА прямооточного типу. Серійно ВА виготовлялися і в інших країнах світу – США, Франції, Іспанії, Мексиці та Чехословаччині, де найбільше розповсюдження вони одержали в хімічній та харчовій промисловості для очищення запилених потоків після сушарок зваженого шару, млинів та змішувачів, а також у гірничодобувній промисловості.

За результатами подальших досліджень, що проводились як вітчизняними так і зарубіжними авторами [26–33, 35–37, 119], з метою підвищення сепараційної ефективності і зниження питомих енерговитрат, були запропоновані певні інноваційні удосконалення основних функціональних елементів ВА [38–45]. Найбільш важливі з них : подача первинного потоку через завихритель ; заміна соплової подачі вторинного потоку під великим тиском подачею через розподілений вхід з рядом тангенціальних сопел ; використання в якості вторинного потоку частки запиленого газу тощо.

У 70-х роках минулого століття в СРСР роботу ВА різних конструкцій досліджували у Московському текстильному інституті, у Сумському національному аграрному університеті (СНАУ) під керівництвом д.т.н.,

професора Якуби О. Р., Інституті хімічних технологій (ІХТ, м. Рубіжне) Східно-Українського національного університету, а також в галузевому науково-дослідному і проектному інституті Черметенергоочистка (ВНПЧЕО, м. Харків). Найбільш істотні та позитивні результати були отримані вченими з МТІ, СНАУ та ІХТ, якими були досліджені, розроблені та впроваджені у багатьох галузях вітчизняної промисловості нові конструктивні моделі вихрових апаратів із зустрічними закрученими потоками (ВАЗЗП).

Таким чином, з великою різноманітністю конструкцій пиловловлюючих пристроїв відцентрової дії, у тому числі і двохпоточних вихрових апаратів, можна виділити два основних конструктивних різновиди, які на даний час отримали розповсюдження в різних галузях вітчизняної промисловості: прямоточні вихрові пиловловлювачі із вторинним потоком газу та протитечні – апарати із зустрічними закрученими потоками (ВАЗЗП).

1.2 Апарати прямоточного типу

Дослідженням гідродинаміки, розробкою конструкцій і впровадженням прямоточних ВА займалися дослідники ВНПЧЕО (рис. 1.1, в,г,д) [28–31, 46, 47].

Так, в роботах [29–31] повідомляється про випробування вихрових апаратів соплового типу. В [29] надані результати випробувань експериментальної моделі апарата діаметром $D_a = 200$ мм, ефективність якої на медичному тальку (параметри пилу $d_{50} = 8$ мкм, $\square_n \square = 2,9$) складала $\square_0 = 98\%$ при загальному гідравлічному опорі апарата $p = 2500$ Па. В роботі [30] надаються результати промислових випробувань ВА прямоточного типу діаметром 0,200 та 0,500 м. Була досягнута ефективність пиловловлювання (параметри пилу : $d_{50} = 8$ мкм, $\square_n \square = 2,9$) відповідно $= 98\%$ і $= 96\%$.

Про високоефективну роботу пиловловлювача із вторинним потоком газу під назвою «Вихор», змонтованого замість циклону діаметром $D_{\psi} = 3$ м,

повідомляється в роботі [31]. До реконструкції остаточно запыленість повітря на виході сягала $Z_{\text{вих}} = 4 \text{ г/м}^3$ при початковій концентрації пилу $Z_{\text{вх}} = 50 \text{ г/м}^3$.

Чотири паралельно встановлених апарата «Вихор» з діаметром сепараційної камери $D_a = 0,6 \text{ м}$ дозволили знизити забруднення викидів до рівня санітарних норм. При цьому загальна ефективність очищення аспіраційного повітря становила $= 97\%$ при гідравлічному опорі $p = (1,3-1,8)10^3 \text{ Па}$ (без урахування енергетичних втрат в сопловому пристрої).

Замість типового циклона ЦН-15 діаметром $D_{\text{ц}} = 0,3 \text{ м}$ на виробництві гіпохлориту кальція, детергенту і отрутохімікату «Цинеб» був встановлений прямоточний пиловловлювач діаметром $D_a = 0,3 \text{ м}$ [47].

Дослідження ефективності роботи ВА соплового типу проводились також і у провідному науково-дослідному інституті з очищення газів (НПОГАЗ, Москва) [48, 49]. Був випробуваний пиловловлювач моделі «Харріклон» з $D_a = 0,2 \text{ м}$, який мав пропускну здатність $L = 600 \text{ нм г}$, показав загальну ефективність на рівні $= 85 \%$ на пилу з медіанним розміром $d_{50} = 11 \text{ мкм}$. При випробуваннях відзначалася значна нестійкість роботи апарата навіть при фіксованому гідродинамічному режимі.

Прямоточні ВА рекомендовано використовувати у тих випадках, коли частка вторинного газу в загальній його витраті не перевищує 50% . При цьому схильний до налипання пил слід подавати в апарат лише по основному каналу, а потік для закручування основного вихору подавати через сопла під надлишковим тиском. У порівнянні з циклонами такі ВА конструктивно дуже складні і згідно [29–31, 47–49] не мають будь-яких вагомих переваг за основними показниками роботи.

Найбільш відомим та достатньо дослідженим ВА прямоочної дії з вторинним потоком газу є «Вихор», схема якого показана на рис. 1.2, а принцип дії міститься у наступному.

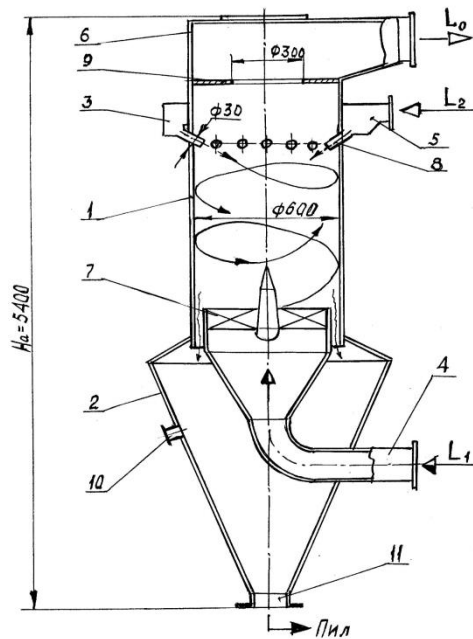


Рисунок 1.2 – Апарат «Вихор» із вторинним потоком газу : 1–сепараційна камера; 2–бункер; 3–колектор; 4–канал первинного потоку; 5–колектор подачі вторинного потоку; 6– розкручувач вихідного потоку; 7–закручувач типу «розетка»; 8–сопло; 9–шайба відбійна; 10– штуцер відсмоктування повітря з бункера; 11– штуцер видалення пилу.

Первинний запилений потік (L_1) надходить під надлишковим тиском через патрубок 4, а вторинний (L_2) подається в сепараційну камеру 1 пиловловлювача по каналу 5 і колектор 3 через нахилені трубчасті сопла 8 діаметром 0,03 м, встановлені під кутом до осі апарата. Первинний потік закручується за допомогою закручувача типу «розетка» 7 і рухається по осі знизу вгору інтенсивно обертаючись по висоті сепараційної камери діаметром $D_a = 0,600$ м. Рухаючись у напрямку відбійної шайби 9 первинний потік поступово втрачає інтенсивність свого обертання, але вгорі він попадає під дію вторинного потоку, що подається з колектора 5 через сопла 8, підкручується ним і крізь отвір діаметром 0,300 м відбійної шайби 9. Через уліточний розкручувач вихідного потоку 6 очищений потік (L_0) відводиться за межі апарата.

Частинки пилу, що містяться в ротаційному потоці, під дією відцентрових сил відкидаються в радіальному напрямку і досягають стінки сепараційної

камери, при цьому вторинний потік не тільки відбиває дрібні частинки пилу у периферійному напрямку, але й транспортує уловлений пил у бункер 2, де він накопичується і через нижній штуцер 11 видаляється з апарата. Та надлишкова частка вторинного потоку, яка досягає рівня завихрувача первинного потоку 7 і попадає в бункер 2, відсмоктується через штуцер 10 спеціальним пристроєм.

Конструкції ВА прямоточного типу із вторинним потоком газу (концепція німецьких вчених) досліджувались і в інших проектних установах та дослідницьких організаціях, але суттєвих результатів, які надавали б можливість організації та проведення галузевих порівняльних випробувань, дослідникам досягти не вдалося.

Організовані і проведені у відповідності з положеннями Єдиної методики [19] у провідному інституті з очищення газів (НПОГАЗ, Москва) галузеві порівняльні стендові випробування апарата «Вихор» з типовим циклоном ЦН–15 [29] дали можливість одержати репрезентативні дані щодо основних характеристик порівнювальних апаратів. Результати цих випробувань не підтвердили відомостей щодо високих значень ефективності сепарації та економічності пиловловачів із вторинним потоком газу. Так, максимальна ефективність вловлювання тестового кварцевого пилу ($d_{50} = 15$ мкм) склала у вихровому апараті = 66 % проти = (84–85) % в типовому циклоні ЦН–15; питома енергоємність вихрового апарата більш ніж у 2,7 рази перевищувала цей показник циклона, а питома маса – в 1,6 рази. Значно програвав ВА типовому циклону і за габаритами.

Було зазначено, що ВА «Вихор», а також іншим моделям прямоточних пиловловачів [48, 49], притаманні певні недоліки, серед яких: наявність додаткового вентилятора високого тиску ; розбавлення очищеного газу повітрям навколишнього середовища; нестійкість гідродинаміки ; надто високі гідравлічні втрати, обумовлені насамперед подачею стислого повітря через сопла; відносно великі габарити та металоємність.

За результатами порівнювальних випробувань апарата із вторинним потоком газу «Вихор» провідним державним інститутом з очищення газів було

визнано недоцільним використання його в якості пиловловлювача загального застосування, так як з основних режимно-конструктивних параметрів він поступається типовому циклону ЦН–15 [50].

Таким чином, аналіз літературних даних свідчить про те, що ВА із вторинним потоком газу на даний час не можуть розглядатися як перспективні конструкції природоохоронного обладнання, зокрема для використання їх в якості пиловловлювачів загальнопромислового призначення.

1.3 Апарати із зустрічними закрученими потоками

Іншим конструктивним різновидом сухих відцентрових пиловловлювачів є зворотнопоточні вихрові апарати із зустрічними закрученими потоками (ВАЗЗП), які на відміну від вище розглянутих ВА прямоточного типу позбавлені багатьох недоліків.

Глибокі теоретичні та всебічні експериментальні дослідження моделей ВАЗЗПЦ почали проводити в Московському текстильному інституті (МТІ) починаючи з середини 70-х років минулого століття [13, 51–92]. Результатами цих досліджень є поширення області застосування ВАЗЗП з активною гідродинамікою в різних галузях промисловості в якості багатофункціональних технологічних пристроїв.

Глибокі теоретичні вишукування гідро- та аеродинаміки ВАЗЗП проводились також і в Сумському національному аграрному університеті (СНАУ) [93–113] під керівництвом д. т. н., проф. Якуби О. Р. Дослідження проводяться по двох конструктивних різновидах вихрових апаратів: з циліндричною (ВАВЗПЦ) та конічною сепараційною камерою (ВАВЗПК).

Основні параметри закручених потоків. На відміну від прямоточного руху повітряного потоку, закручений відносно власної осі обертання потік характеризується трьома складовими швидкості – радіальною, осьовою та тангенціальною [19, 115]. Крім того, в закрученому потоці присутній градієнт тиску як в уздовжньому, так і в поперечному перерізі, причому тиск у біля

осьової зоні завжди нижче за тиск у пристінній зоні.

Найбільш відомий спосіб отримання закрученого потоку – подача повітря в закручувач, який на виході забезпечує рух одночасно в осьовому та тангенціальному напрямках. Ступінь закрутки потоку може змінюватись регулюванням співвідношення між витратами повітря, що рухається в осьовому і тангенціальному напрямках. Інший відомий спосіб закручування потоків – подача основного обсягу потоку, наприклад через гвинтоподібні чи нахилені лопатки завихрувача, а решти потоку – в обхід його. Такий спосіб створення закрученого потоку в техніці пиловловлювання використовується при організації слабо закручених течій. В сучасній техніці найбільше розповсюдження отримали закручувачі, що забезпечують утворення потоку від слабо- до сильно закрученого [116], причому, кожний тип характеризується основними параметрами : рівномірністю створюваного обертального потоку у поздовжньому перерізу, ступенем закручування, кутом розкриття в гирлі, перепускною здатністю, гідравлічним опором.

Кут розкриття струменя в повітряних закручених потоках є значно більшим, ніж у прямоточних потоках, що обумовлюється тим, що при закручуванні потоку і виході його у вільний простір різко зростає інтенсивність масообміну між обертальним потоком та повітрям навколишнього середовища. При цьому виникають відцентрові сили, що впливають на елементарні об'єми потоку і сприяють руху потоку у радіальному напрямку при вільному витіканні, що збільшує кут розкриття.

1.4 Аеродинаміка вихрових пиловловлювачів

З чисельних описів фізичної картини системи закручених потоків слід виділити роботи К. Шмідта та В. Подгурського [117].

Фізична модель процесів по Шмідту заснована на принципі утворення двох вихрових течій, відомих в природі під ім'ям “ТАЙФУН”. Комбінація течій

складається з ротаційного потоку, що обертається в осьовій зоні, та потенційного безвихрового потоку, що оточує ротаційний. Напрямок функціонуючого поблизу стінки сепараційної камери потенційного потоку в його зовнішній частині протилежний напрямку течії ротаційного потоку, а у внутрішній частині він співпадає з напрямком останнього. В результаті взаємодії обох потоків утворюється результуюче поле течій, в якому діє досить складна система сил, однак дві з них є визначними: відцентрова сила, направлена від центра до периферії та сила лобового опору, направлена назустріч. Ці сили власне і обумовлюють виділення твердої фази із заповненого потоку.

В якості базової конструктивної схеми науковцями з Московського текстильного інституту спочатку був обраний прямоточний апарат із вторинним потоком газу, але попередні лабораторні випробування виявили цілий ланцюг суттєвих недоліків, які протягом досить тривалого часу досліджень поступово усувалися. При цьому після аналізу одержаних результатів дослідники зупинилися на двох на їх погляд перспективних моделях, схематично показаних на рис. 1.3, 1.4.

Перша модель – конструкція вихрового апарата із зустрічними закрученими потоками з циліндричною сепараційною камерою (ВАЗЗПЦ) – досліджувалася і розроблювалася в МТІ [34, 72].

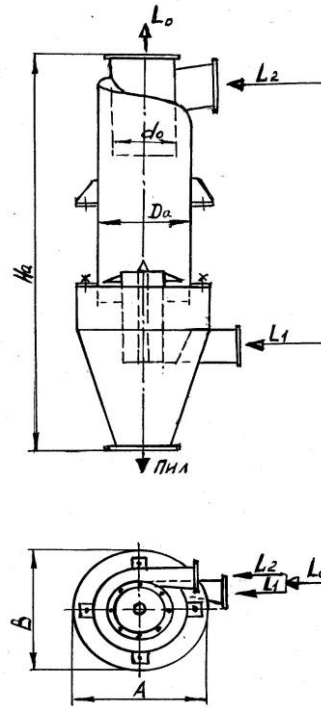


Рисунок 1.3 – Модель ВА33ПЦ

Ця модель ВА, що умовно віднесена до високопродуктивних, успішно пройшла міжвідомчі порівняльні випробування у відповідності з Єдиною методикою [19] і була рекомендована для використання в різних галузях промисловості в якості відцентрового сухого пиловловлювача загального застосування [18]. В цьому апараті первинний потік (L_1) подається знизу через осьовий циліндричний завихрувач і рухається вгору, а вторинний потік (L_2) подається через тангенціальний завихрувач зверху і рухається уздовж стінки сепараційної камери вниз назустріч первинному. Очищений потік (L_0) відводиться з апарата через осьовий циліндричний вихідний патрубок. Сепарація частинок здійснюється під дією системи сил, переважно відцентрових, в циліндричній сепараційній камері, а уловлений пил під дією пристінної частки вторинного потоку транспортується до рівня відбійної шайби і збирається в бункері, звідки через нижній штуцер покидає апарат.

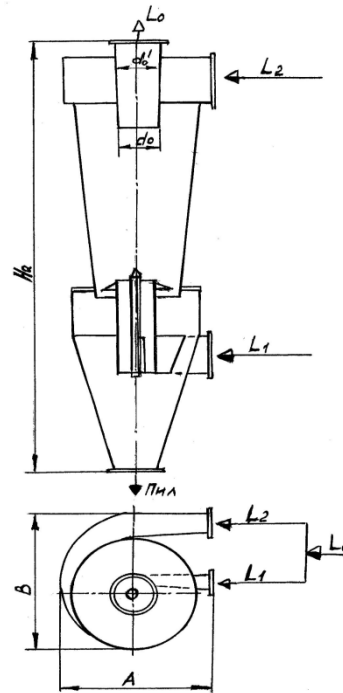


Рисунок 1.4 – Схема моделі ВА33ПК (з конічною сепараційною камерою)

На відміну від моделі ВА33ПЦ [15–16], пиловловлювач ВА33ПК [113] відноситься до високоефективної моделі (рис. 1.4).

Сепараційна камера, вихідний патрубок та завихрувач первинного потоку виконуються конічними, а завихритель вторинного потоку – уліточного типу. Співвідношення геометричних розмірів елементів ВА33ПК значно відрізняються від моделі ВА33ПЦ.

Підвищена ефективність пиловловлювання моделі ВА33ПК порівняно з моделлю ВА33ПЦ обумовлена менш «швидкісним» гідродинамічним режимом в сепараційній камері. Принцип дії цих моделей є однаковим.

Слід зазначити, що модель ВА33ПК на даний час не має сталих і затверджених співвідношень геометричних розмірів, не піддавалася порівняльним стендовим випробуванням згідно [19], тому в дисертаційній роботі вона не розглядається.

Одиночні вихрові апарати. Одиночні ВА використовуються в аспіраційних системах як окремо встановлювані пристрої, при цьому кількість елементів визначається лише продуктивністю з очищеного повітря. ВА великого діаметру мають, як правило, індивідуальний вентилятор, але можуть

бути й системи, в яких об'єднуються декілька елементів однакового чи різного типорозміру, працюючих від одного потужного вентиляторного агрегата.

На рис. 1.5 показана схема пиловловлювача моделі ВАЗЗПЦ [34].

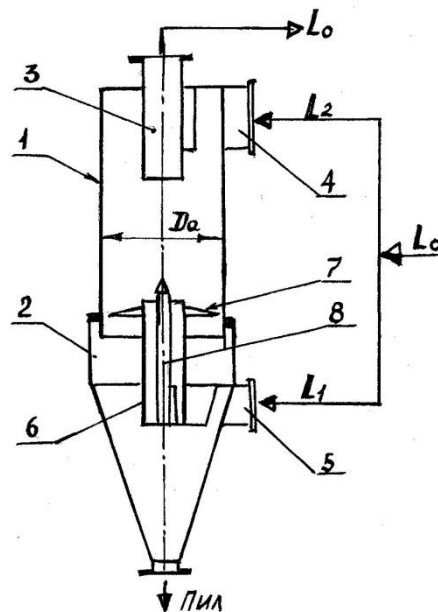


Рисунок 1.5 – Конструктивна схема ВАЗЗПЦ: 1 – циліндрична сепараційна камера; 2 – циліндроконічний пилозбірний бункер; 3 – вихідний патрубок; 4 – канал подачі вторинного потоку; 5 – канал подачі первинного потоку; 6 – завихритель первинного потоку; 7 – шайба відбійна; 8 – осьовий витискувач.

До складу моделі ВАЗЗПЦ входять такі функціональні елементи, які у сукупності забезпечують потрібний гідродинамічний режим в сепараційній камері.

Важливим функціональним вузлом сучасних знепилюючих установок з об'ємним накопиченням і вивантаженням уловленого пилу є бункерна частина, яка є невід'ємною частиною і певним чином може впливати на загальну ефективність пиловловлювання відцентрових пиловловлювачів.

Вибір типу і розмірів пиловивантажувального обладнання, виходячи з великої кількості пиловидних матеріалів з широким діапазоном дисперсності,

фізико-хімічних, адгезійно-когезійних властивостей, абразивності, вологості і температури, є досить складною задачею. До того ж часто цей вибір може бути регламентований вимогами споживача щодо переведення пилу у непилющу форму, наприклад у вигляді гранул [136].

Помилки і неточності розробників при проектуванні систем пиловивантаження з бункерів-накопичувачів є причиною забивання пилом бункерів і затворів, підсмоктування повітря у бункер, завищення габаритів, металоємності обладнання і зниження ефективності уловлювання пилу.

Практика свідчить, що проблемні питання стосовно пиловидалення повинні розв'язуватися комплексно, у чіткому взаємозв'язку роботи бункерів-накопичувачів і вивантажувальних механізмів, а розробку системи вивантаження пилу необхідно вести одночасно у двох напрямках :

- розробка і використання засобів попередження і усунення зависання пилу в бункерах-накопичувачах;
- розробка і правильний вибір ефективних і надійно працюючих транспортуючих і затворних пристроїв стосовно різних умов вивантаження та подальшого транспортування матеріалу з бункерів пиловловлюючих апаратів.

Евакуація уловленого пилу з бункерів здійснюється через тічки з допомогою пилових затворів, основною функцією яких є вчасне видалення пилу без підсмоктування зовнішнього повітря.

Підсмоктування повітря ззовні в значній мірі збільшують винос пилу з очисних апаратів, підвищують навантаження на тягові вентилятори, викликають корозію стінок бункерів, погіршують витікання пилу з бункерів, знижують продуктивність затворів, призводять до припинення вивантаження пилу з бункерів.

Слід зазначити, що переважна більшість аспіраційних систем, створених на базі відцентрових пиловловлювачів, працює під розрідженням від 0,25 до 10 кПа. Це вимагає забезпечення надійної герметизації і відповідних ущільнень між пиловловлювачем, бункером та механізмом вивантаження пилу. Крім того, бункер-накопичувач в системах, створених на базі моделі

ВАЗЗПЦ, має забезпечувати не тільки надійне вивантаження пилу, але й попередження перетікання повітря між суміжними елементами в групових та батарейних установках.

На відміну від циклонних бункерів-накопичувачів пилу [11, 136], в яких має місце продовження аеродинамічних процесів, що протікають в сепараційній зоні, і які певним чином впливають на ефективність сепарації частинок пилу, у приймальниках пилу моделі ВАЗЗПЦ осадження і накопичення уловленого матеріалу проходить без будь-яких особливих утруднень. Але в окремих випадках можуть мати місце й певні проблеми, що розглядаються нижче.

Вибір ефективно і надійно працюючих затворів визначається конструкцією бункерів (насамперед розміром пиловипускного отвору), кількістю матеріалу, що вивантажується, його основними характеристиками і специфічними властивостями, а також параметрами зовнішніх умов – температурою та вологістю навколишнього середовища.

Крім того, конструкція і розміри пиловивантажувального механізму залежать від періодичності вивантаження. При розробці схеми пиловидалення необхідно також передбачати можливість здійснення поточного обслуговування і ремонту, а також заміни механізмів з вивантаження пилу, без зупинки системи аспірації.

Найбільш розповсюджені в техніці знепилювання запошених потоків конструктивні типи пристроїв для вивантаження пилу розглянуті в [136].

Слід зазначити, що правилами експлуатації аспіраційних установок передбачається вивантаження пилу без надлишкового його накопичення в бункері. Тому продуктивність пилового затвора має надійно забезпечувати відведення всієї кількості пилу, що знаходиться в бункері. З іншого боку, щоб попередити вірогідність підсмоктування повітря через можливі нещільності нижче фланцевого сполучення випускного патрубку, в нижньому штуцері якого має бути присутньою певна кількість пилу, яка виконувала б функцію затвору. Але забезпечити такий режим роботи можливо лише за умовою безперервного

контролю рівня пилу в бункері та керування роботою механізму вивантаження пилу.

Слід зауважити, що на практиці часто виникають певні утруднення при спорожненні бункерів для збирання пилу, причиною яких є погіршення процесу вивантаження пилу внаслідок його певних характеристик.

Так, наприклад, здатність частинок пилу до злипання (когезія), викликає підвищення міцності пилової маси, що впливає на її спроможність протистояти руйнуванню. Внутрішнє тертя перешкоджає пластичному деформуванню, тобто перебігу пилової маси. На текучість пилу впливає також і час перебування пилу в бункері.

Комплекс властивостей матеріалу частинок пилу має бути врахований при конструюванні бункерів, при цьому визначаються найбільш впливові показники, що погіршують надійність вивантажування.

Видалення пилу з бункерів забезпечується різними засобами в залежності від властивостей матеріалу, тому на практиці при вирішенні цього питання здійснюють вибір оптимальної геометрії бункера, активні чи пасивні засоби усунування можливих перешкод, зміна властивостей матеріалу і режиму роботи бункера [136]. На рис. 1.6 показана бункерна частина типової моделі ВАЗЗПЦ.

Бункер-накопичувач пилу 3 складається з циліндричної частини висотою $h_{\text{ц}}$ і конічної частини висотою $h_{\text{к}}$ з кутом розкриття конуса α , в нижній частині якої передбачений отвір діаметром d_0 . В середині нерухомо встановлений завихритель первинного потоку, а зверху – сепараційна камера 1, яка поєднується з бункером за допомогою болтового з'єднання.

Така конструкція бункера-накопичувача пилу обґрунтовується наступним.

В бункерній частині апарата моделі ВАЗЗПЦ здійснюється повне осадження уловленого пилу, який проникає в її середину через кільцевий зазор, утворений на рівні відбійної шайби. Кут розкриття конічної частини бункера α визначається кутом природного укусу уловлюваного пилу.

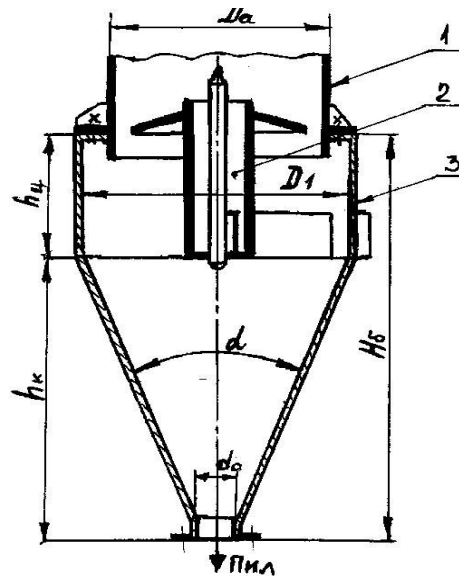


Рисунок 1.6 – Схема бункерної частини пиловловлювача ВАЗЗПЦ: 1 – сепараційна камера; 2 – завихрувач первинного потоку; 3 – бункер-накопичувач пилу.

Діаметр отвору в нижній частині бункера вибирається виходячи з умови вільного руху пилу до механізму вивантаження, і залежить від сводоутворюючого розміру [136].

Одиночні вихрові пиловловлювачі можуть бути включені в систему повітропроводів по схемах, коли: через первинний канал надходить чисте повітря, а по вторинному – заповишене;

- заповишений потік надходить лише по вторинному каналу, а по первинному – певна частка вже очищеного в апараті повітря ;

- заповишений потік одночасно подається по обох каналах.

Вибір схеми включення визначається виключно економічними та експлуатаційними вимогами.

1.5 Типова конструкція циліндричного вихрового апарата

Типова конструкція моделі ВАЗЗПЦ [34] показана на рис. 1.7, а співвідношення геометричних розмірів основних елементів надані в таблиці 1.1.

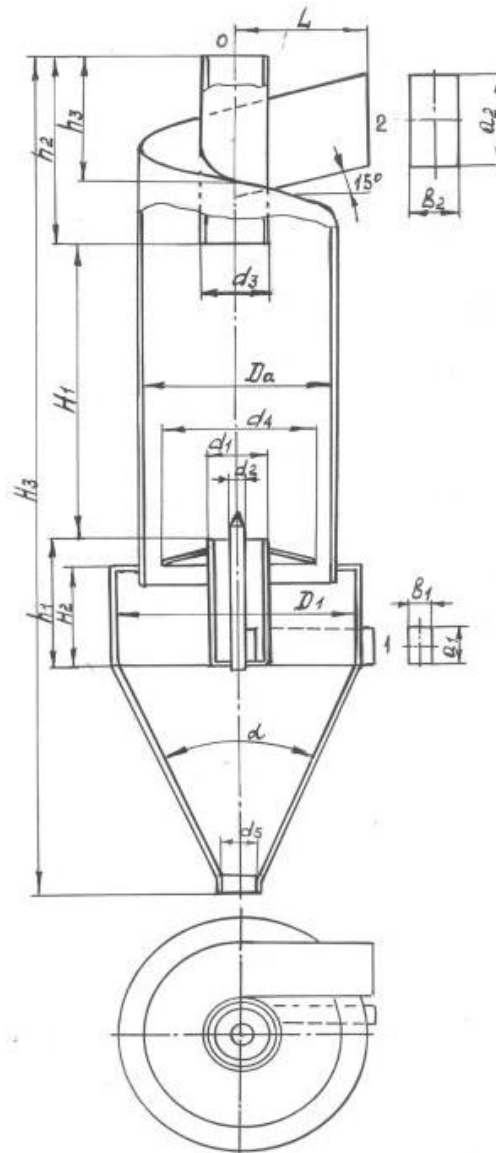


Рисунок 1.7 – Типова конструкція апарата моделі ВАЗЗПЦ

Таблиця 1.1 – Основні співвідношення розмірів ВАЗЗПЦ *)

Умовне позначення	Найменування параметра **)	Співвідношення розмірів (відносно D_a)
D_a	Внутрішній діаметр сепараційної камери	1,00
D_1	Внутрішній діаметр пилозбірника	1,25
d_1	Діаметр завихрувача первинного потоку (внутр.)	0,50
d_2	Діаметр витискувача	0,20
d_3	Діаметр вихідної труби (зовнішній)	0,60
d_4	Діаметр відбійної шайби	0,85
d_5	Діаметр пиловипускного отвору (внутрішній)	0,20
H_1	Висота сепараційної камери	2,00
H_2	Висота циліндричної частини пилозбірника	0,60
H_3	Загальна висота апарата	6,00
h_1	Висота завихрувача первинного потоку	1,20
h_2	Висота вихідного патрубку	1,75
h_3	Висота зовнішньої частини вихідного патрубку	0,31
a_1	Висота патрубка первинного потоку	0,50
a_2	Висота патрубка вторинного потоку	0,66
b_1	Ширина патрубка первинного потоку	0,15
b_2	Ширина патрубка вторинного потоку	0,20
L	Довжина вхідних патрубків	0,70
α	Кут конусності пилозбірника, °	35–40
	Товщина стінки сепараційної камери ***)	

*) Співвідношення вказаних розмірів можуть змінюватися Замовником після узгодження з Розробником апарата ;

**) Невказані розміри елементів апарата приймаються виходячи з конструктивних міркувань.

***) Товщина стінки сепараційної камери та пилозбірника визначається надлишковим тиском (розрідженням), під яким працює апарат.

РОЗДІЛ 2

ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНА ЧАСТИНА

2.1 Експериментальний стенд

Загальний вигляд науково-дослідної лабораторії ПАТ «Сєверодонецький ОРХІМ» показаний на рис. 2.1.



Рисунок 2.1 – Науково-дослідна лабораторія з дослідження ВАЗЗПЦ

Лабораторний стенд постачений відповідною функціональною елементною базою, передбаченою ЄМ, а також комплексом додаткових спеціалізованих пристроїв для забезпечення функціонування під час проведення випробувань. Конструкції окремих пристосувань визначались характеристиками тестового пилу та умовами проведення дослідів.

Перед подачею в досліджуваний апарат тестовий пил попередньо піддавався спеціальній підготовці за допомогою системи пилоприготування,

При розробці нових чи реконструкції вже існуючих аспіраційних систем визначальним аспектом для продовження процесу проектування виступають знання дійсних технологічних характеристик і специфічних особливостей джерела утворення пилових викидів на виробництві. З метою їх визначення в практиці досліджень вдаються до експериментального випробування проектованої моделі ВАЗЗПЦ безпосередньо у виробничих умовах [130]. Для

цього була створена універсальна мобільна установка, схема якої показана на рис. 2.2.

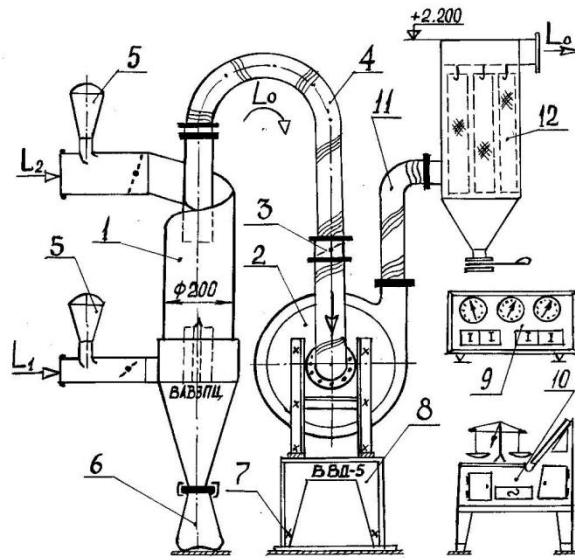


Рисунок 2.2 – Схема мобільної установки: 1 – модель ВА33ПЦ; 2 – вентилятор ВВД-5; 3 – регулятор витрати повітря; 4, 11 – гнучкі повітропроводи; 5 – система штучного запилення; 6 – пилозбірник; 7 – кріплення; 8 – опорна рама; 9 – блок вимірювальний; 10 – система пилоприготування та аналізів; 12 – фільтр санітарного очищення.

Універсальна мобільна установка у розібраному стані доставляється на місце проведення експерименту, де збирається, обв'язується відповідними повітропроводами, постачається необхідними контрольно-вимірювальними приладами. В залежності від планованих цілей і задач дослідження встановлюються відповідні режимні параметри.

2.2 Ефективність пиловловлювання

Принципальна схема лабораторного стенду для випробування відцентрових пиловловлювачів на ефективність сепарації частинок в умовах штучного запилення показана на рис. 2.3.

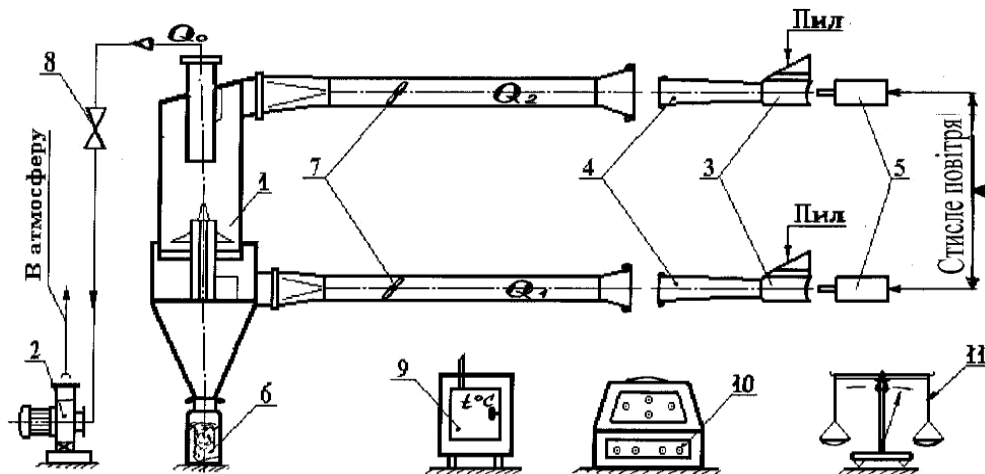


Рисунок 2.3 – Схема лабораторного стану для випробування ВАВЗПЦ на ефективність пиловловлювання: 1 – модель ВАВЗПЦ; 2 – вентилятор високого тиску ВВД-5; 3 – система дезагломерації та дозування пилу; 4 – дифузор; 5 – сопло подачі стислого повітря; 6 – пилозбірна ємність; 7 – регулятор витрати повітря (дросельна заслінка); 8 – шиберна заслінка загального колектора; 9 – сушильна шафа; 10 – пульт управління і система обробки результатів; 11 – ваги лабораторні.

Визначним функціональним вузлом стану є система дезагломерації і дозування пилу 3, який подається у вхідні патрубки моделі 1 апарата ВАВЗПЦ за допомогою пиложивильників крізь дифузори 4. Для попереднього диспергування пилу задіяні сопла подачі стислого повітря 5, які створюють швидкісне струменеве витікання потоку і руйнують пилові агломерати до одиночних частинок, а при русі через дифузори 4, сприяють вирівнюванню концентрації пилу по перерізу вхідних повітропроводів до моменту надходження в сепараційну камеру апарата.

Дистанційне регулювання загальної витрати штучно запиленого повітря через випробуваний пиловловлювач здійснювалось шиберною заслінкою 8, встановленою на загальному колекторі між всмоктуючим патрубком вентилятора 2 і вихідним патрубком апарата. Висушування тестового пилу здійснювалось у сушильній шафі 9, а лабораторні ваги 11 з достатньою

точністю зважування ($\pm 0,01$ г) дозволяли готувати наважки пилу як до початку експерименту, так і визначати кількість уловленої пилу після проведення дослідів.

Пил, що уловлювався у досліджуваній моделі ВАЗЗПЦ протягом дослідів чи серії дослідів, накопичувався в герметизованій пилозбірній ємкості 6, закріпленій на пиловипускному штуцері апарата.

При проведенні всіх дослідів, методом зовнішньої фільтрації проводилось дублювання рівня запиленості контрольними замірами на виході з апарата.

Ефективність очищення запылених потоків у випробуваній моделі ВАЗЗПЦ визначалась різними способами. Одним з найбільш вживаних є експериментальний спосіб визначення ефективності сепарації по співвідношенню кількості уловленої пилу до кількості пилу, що надійшов в апарат протягом дослідів (серії дослідів) :

$$\eta_0 = (G_{\text{ул.}} / G_n) \cdot 100, \% \quad (2.1)$$

де η_0 – загальний ступінь очищення повітря у випробовуваному пиловловлювачі, % ;

$G_{\text{ул.}}$, G_n – маса уловленої в апараті пилу і подаваного відповідно.

Для відбору пилових проб непрямим способом застосовувались пилозбірні трубки внутрішньої або зовнішньої фільтрації. При цьому відбір проб з повітропроводів проводився з дотриманням принципу ізокінетичності у відповідності з чинними методиками [132–134]. Для ізокінетичного відбору проб пилу з газоходів різних діаметрів і поперечного перерізу у виробничих умовах використовувався універсальний портативний блок приладів ПОУ–1 [131].

Ступінь винесення пилу з досліджуваного апарата визначалась за формулою:

$$\varepsilon = (100 - \eta_0) = \frac{G_n - G_{ул.}}{G_n} \cdot 100, \%$$
(2.2)

Ступінь очищення запиленого потоку пиловловлювачем по вхідній і вихідній концентраціях пилу визначалась по формулі :

$$\eta = (1 - Z_{вих.}/Z_{вх.})100, \%$$
(2.3)

де $Z_{вх.}, Z_{вих.}$ – середня протягом дослідження концентрація пилу в повітрі до і після пиловловлювача, г/м³.

Фракційна ефективність пиловловлювачів ВАЗЗПЦ визначалась по формулі:

$$\eta_{\phi_i} = \frac{\Phi'_{\phi} \cdot \eta_0}{\Phi_{\phi}} = \frac{\Phi_{\phi} - \Phi''_{\phi} \cdot \varepsilon}{\Phi_{\phi}}, \%$$
(2.4)

де $\Phi_{\phi}, \Phi'_{\phi}, \Phi''_{\phi}$ – кількість даної фракції пилу відповідно на вході в пиловловлювач, в улові та у виносі відповідно, %, η – ступінь винесення пилу, %.

В залежності від обраного методу визначення запиленості пилогазового потоку здійснювалася підготовка вимірювального стенду.

При цьому перш за все визначалися аеродинамічні характеристики даного режиму, такі як швидкість потоків, загальна витрата повітря, кратність потоків. Потім, згідно отриманих дослідних даних, визначалась ефективність пиловловлювання в залежності від характеру дослідження, тобто по масі уловлених і поданих наважок пилу або виходячи з рівня концентрацій.

Перевірка міри достовірності отриманих результатів здійснювалась методами математичної статистики [138–90].

2.3 Обробка та обговорення результатів досліджень

Фізичні експерименти проведено шляхом експериментальних досліджень на лабораторних установках та виконані на базі застосування методів обробки експериментальних даних.

Визначення кількості вимірів, похибки вимірів та результатів розрахунку основних гідродинамічних параметрів та характеристик в досліджуваних зонах моделей апаратів базується на загальноприйнятих методиках та рекомендаціях [138–90] щодо підготовки і проведення інженерного експерименту та статистичної обробки отриманих даних.

Визначення оптимально необхідної кількості дослідів. Для досягнення найвищої достовірності й точності одержаних результатів експерименту та їх обробки застосовувались методи математичної статистики [138, 90].

При проведенні окремих дослідів (чи їх серії) з необхідними точністю та достовірністю, визначалась потрібна кількість вимірів (n), при яких виникала впевненість у позитивному результаті. Для цього попередньо обчислювалось середньоквадратичне відхилення σ^2 (дисперсія):

$$\sigma^2 = \frac{\sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2}{n - 1} \quad (2.5)$$

де x_i – значення одиночного параметра ;

\bar{x} – середнє арифметичне значення ;

n – число паралельних вимірів.

Встановлювались потрібна точність вимірювання ($\pm\delta$) (довірчий інтервал) та (довірчий інтервал похибки вимірювання в %), який мусить бути не меншим за клас точності вимірювального приладу. При цьому середня похибка

вимірювання обчислювалася по виразу $\sigma_0 = \frac{\sigma}{\sqrt{n}}$.

Мінімальна кількість паралельних вимірювань (дослідів), що забезпечувало коректність отриманих результатів з потрібними точністю та достовірністю, обчислювалась по формулі :

$$n_{\min} = \frac{\sigma^2 \cdot t^2}{\sigma_0^2} = \frac{K_b \cdot t^2}{\Delta^2}, \quad (2.6)$$

де t – нормоване відхилення (приймається в межах від $t = 2$ при малій точності вимірювань, до $t = 3$ при великій точності) ;

При $n > 30$ середнє значення даної сукупності вимірів x достатньо наближається до його істинного значення.

Виключення грубих помилок ряду. При проведенні експериментів можливо виникнення двох видів помилок – випадкових та систематичних, які значно впливають на точність отриманих результатів. Аналіз таких помилок можливий при середньоквадратичному відхиленні σ , що обчислюється по формулі [139]:

Найбільш можлива помилка окремого виміру для дослідів з малою точністю визначалася за правилом «трьох сигм» ($\Delta = 3\sigma$) [139], а для точних вимірювань – визначенням двостороннього довірчого інтервалу за умови влучення його в довірчий інтервал $P_0 = 95\%$ [139]:

$$\sigma = \frac{\sum_{i=1}^n (\bar{x} - x_i)^2}{n-1}. \quad (2.7)$$

$$\varepsilon = t_p \cdot \frac{\sigma}{\sqrt{n}}, \quad (2.8)$$

$$\sigma_y = \sqrt{\sum_{i=1}^n \left(\frac{\partial y}{\partial x} \cdot \Delta \cdot x_i \right)^2}, \quad (2.9)$$

де t_p – критерій Стьюдента.

Зниження впливу систематичних помилок на результати здійснювалось таруванням приладів та періодичним контролем їхніх показань порівнянням із

зразковими приладами.

Оцінка відтворюваності вимірів. При проведенні відповідальних експериментів, пов'язаних з отриманням експериментальних даних для проведення порівнювального аналізу різних моделей апаратів, методом визначення розрахункового критерія Кохрена ($K_{кр}$) проводилась перевірка вимірювань на повторюваність в певних границях вимірювань із завданою довірою достовірністю. Величина критерія Кохрена визначалась по формулі [138, 90]:

$$K_{кр} = \frac{\max \sigma^2}{\sum_{i=1}^m \sigma_i^2}, \quad (2.10)$$

де $\max \sigma^2$ – найбільше числове значення дисперсії з числа паралельних серій вимірювань (дослідів);

m – число паралельних дослідів ;

σ^2 – дисперсія генеральної сукупності (статистичного ряду) ;

Апроксимація графічних результатів дослідів аналітичними виразами здійснювалась методами «середніх» та «найменших квадратів» [138,90].

РОЗДІЛ 3

АНАЛІЗ ПРОВЕДЕНИХ ДОСЛІДЖЕНЬ

3.1 Конструювання промислових моделей вихрових пиловловлювачів

Особливості гідродинаміки і специфічні властивості пиловловлювача моделі ВАЗЗПЦ вимагають творчого інженерного підходу при їх конструюванні, при цьому слід дотримуватися наступних рекомендацій.

Технічна характеристика. Безумовне виконання вимог технічного завдання на проектування можливе лише при пошуку оптимального співвідношення між ефективністю пиловловлювання та гідравлічним опором. Якщо переважним чинником виступає загальна ефективність пиловловлювання, а енергоспоживання не регламентовані, то режимно- конструктивні параметри проектованої моделі ВАЗЗПЦ мають відповідати виключно цій умові. Інші чинники можуть враховуватися лише після виконання умов головного.

Конструктивні розміри. Співвідношення основних геометричних розмірів моделі ВАЗЗПЦ є сталими і повинні витримуватися з відповідною точністю, передбаченою кресленнями робочої документації. Не регламентовані, наприклад діаметр пиловипускного отвору, конусність бункерної частини, товщина стінки сепараційної камери, бункера-накопичувача, вибираються в залежності від характеристик і специфічних особливостей пилу та міцнісних розрахунків. При цьому слід прагнути до мінімізації габаритних розмірів : менший діаметр сепараційної камери відповідає більш високій ефективності сепарації, але при цьому необхідно співвідносити розміри прохідних каналів з відповідними властивостями твердої фази.

При великій продуктивності з очищеного повітря слід дотримуватись правила : чим менша кількість одиночних елементів, здатних забезпечити проектні показники, тим більш надійною буде їх робота у досягненні визначних показників ефективності роботи. В разі значної кількості одиночних елементів,

особливо при батарейній їх компоновці, завжди присутня вірогідність перетоків повітря між суміжними елементами, що може призвести до погіршення ефективності роботи системи в цілому. При необхідності уловлювання пилу з підвищеними адгезійно-когезійними властивостями недоцільно закладати мультіелементи найменшого типорозміру внаслідок потенційної загрози забивання пиловим матеріалом прохідних каналів завихрувачів потоків при зниженні загальної витрати повітря нижче номінальної.

Режим роботи. Номінальний режим протягом тривалого часу роботи аспіраційної системи практично не впливає на її конструктивне оформлення в цілому або її окремі елементи. Але при цьому слід передбачати можливість проведення відповідних операцій з контролю, технічного обслуговування та ремонту без зупинки аспіраційної системи.

Періодичний чи безперервний режим вивантаження уловленого пилу з бункерів-накопичувачів лише частково впливають на їх конструкцію. При технологічній потребі у накопиченні певної кількості сипкого матеріалу, розміри бункера можуть бути збільшеними до потрібної місткості. При безперервному вивантаженні – зменшеними до мінімуму, а при груповій чи батарейній компоновці одиночних пиловловлювачів, бункер на кожному з них може бути відсутнім, але при умові наявності загального бункера-накопичувача відповідної місткості та конфігурації.

Особливі вимоги Замовника. Замовник знепилюючої аспіраційної установки може пред'являти свої специфічні умови чи мати певні побажання, наприклад стосовно параметрів її функціонування, експлуатації та обслуговування, компоновки або габаритних розмірів. Тому розробник по можливості мусить їх враховувати лише тоді, коли визначні проектні параметри виконані.

3.2 Основні напрямки конструктивної модернізації вихрових пиловловлювачів

Конструктивний розвиток будь-яких складних технічних систем, в тому числі і технологічної апаратури природоохоронного призначення, може йти лише шляхом інтенсифікації і підвищення ефективності тих процесів, що в них реалізуються [100].

З метою поліпшення режимно-конструктивних параметрів та ефективності роботи пиловловлювачів моделі ВАЗЗПЦ їх конструктивне удосконалення може відбуватися як усуненням окремих недоліків, так і шляхом конструктивних змін окремих функціональних систем чи окремих елементів [97–99].

Поширений аналіз найбільш впливових зон для інноваційних конструктивних удосконалень визначних елементів, результати їх експериментальної перевірки та рекомендації наведені в роботі [97].

На рис. 3.1 визначені найбільш впливові функціональні зони, які можливо піддавати конструктивній модернізації без погіршення стійкості гідродинаміки та ефективності роботи моделі ВАЗЗПЦ.

При розробці ВАЗЗПЦ для конкретного використання вказані зони можуть бути відповідним чином конструктивно реконструйовані з метою досягнення більш ефективних показників функціональності адаптовано до конкретних умов експлуатації

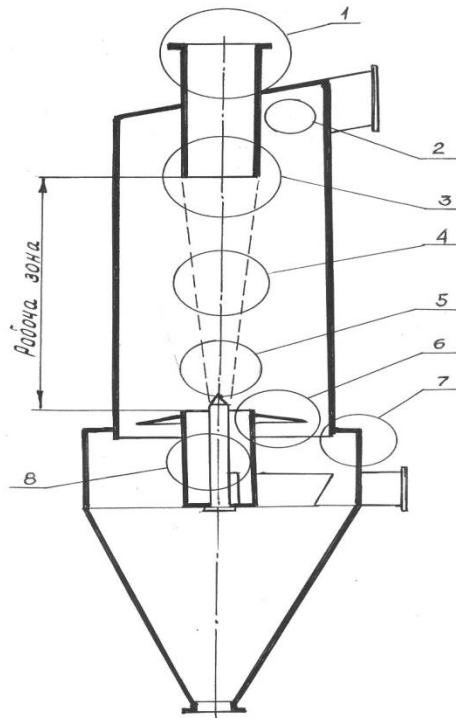


Рисунок 3.1 – Зони конструктивної модернізації ВАЗЗПЦ: 1 – верх вихідного патрубку; 2 – вторинний завихрувач; 3 – низ вихідного патрубку; 4 – робоча зона; 5 – центральний витіснювач; 6 – шайба відбійна; 7 – бункер-накопичувач пилу; 8 – завихритель первинного потоку.

Сепараційна камера. Сепараційна камера є визначальним функціональним елементом, в якому власне й здійснюється процес сепарації твердих частинок з системи закручених потоків. Її геометрія однозначно визначена моделлю і не може довільно змінюватися. Але всередині її певним чином можуть розміщуватися окремі функціональні елементи, призначені для поліпшення умов взаємодії фаз без порушення характеру і стійкості утвореного гідродинамічного режиму.

За результатами теоретичних і експериментальних досліджень була розроблена інноваційна конструкція пиловловлювача моделі ВАЗЗПЦ з безперервним вивантаженням пилу [98], яка запатентована, пройшла промислово апробацію і відрізняється від типової моделі ВАЗЗПЦ більш високими техніко-економічними показниками. Схематично нова конструкція показана на рис. 3.2.

Суттєвою відзнакою нової моделі пиловловлювача у порівнянні з типовою моделлю є те, що всередині циліндричного корпусу розміщена гвинтова сепараційна камера 1, що внизу закінчується жалюзійним розвантажувачем 3, пов'язаним з завихрувачем первинного потоку (I), в якому завдяки ексцентрично встановленому витискувачу та шарніру 6 утворюється вібрація, що передається на сепараційну камеру. Крім того, у первинному завихрувачі (I) передбачений горизонтальний 5, а у вторинному (II) вертикальний жалюзійний розвантажувач пилу 4.

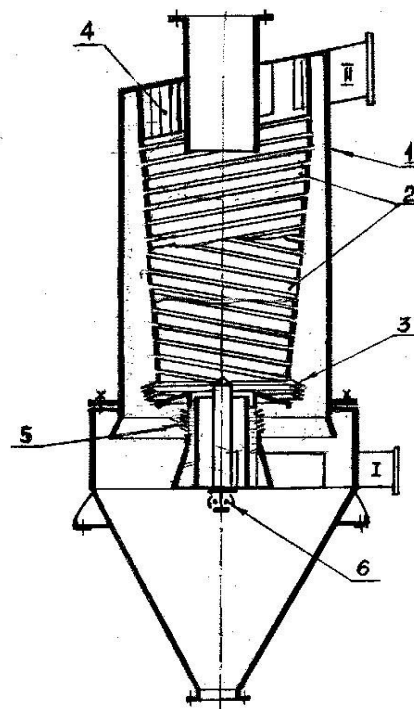


Рисунок 3.2 – Схема інноваційної конструкції ВА33ПЦ з гвинтовою сепараційною камерою і неперервним вивантаженням пилу

Інші істотні відмінності містяться в тому, що кут нахилу до горизонту спіралі стрічки, з якої виготовлена сепараційна камера, знаходиться в межах від 10^0 до 30^0 , міжвитковий зазор складає $(20-25)\%$ від ширини стрічки, а відбійна шайба відокремлена від циліндричного елемента завихрителя первинного потоку і вгорі жорстко пов'язана через кінцевий жалюзійний розвантажувач з нижнім кінцем сепараційної камери, а знизу – з пружним жалюзійним

розвантажувачем первинного потоку.

Слід зауважити, що розміщення в приосьовій зоні сепараційної камери будь-яких елементів не завжди приводить до позитивних результатів [97].

Завихрувачі потоків. Завихрувачі первинного і вторинного потоків, що піддані реконструкції згідно [98], мають конструктивне оформлення, яке показано на рис. 3.3, 3.4.

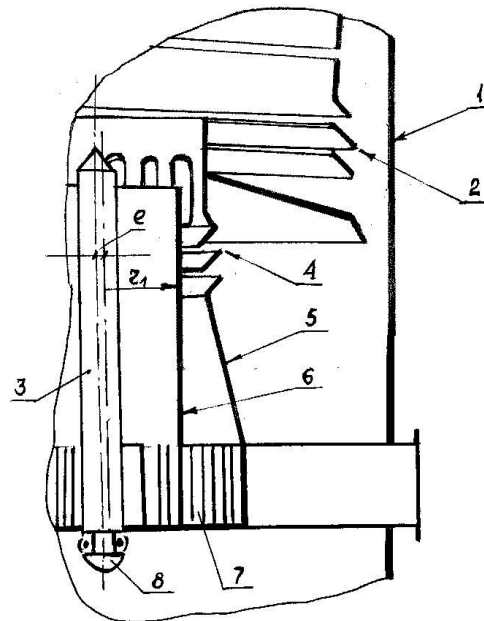


Рисунок 3.3– Конструктивне оформлення первинного завихрителя: 1 – корпус; 2 – жалюзійний розвантажувач сепараційної камери; 3 – осьовий витиснювач; 4 – жалюзійний розвантажувач первинного завихрувача; 5 – конфузор; 6 – циліндр; 7 – вертикальні жалюзі; 8 – шарнір.

В циліндричному корпусі 1 нижче рівня жалюзійного розвантажувача сепараційної камери 2 розміщені ексцентрично встановлений осьовий витиснювач 3, нижня частина якого виконана у вигляді шарніру 8, жалюзійний розвантажувач первинного завихрувача 4, пов'язаний з конфузором 5, а також вертикальні жалюзі 7, що забезпечують сполучення циліндра 6 з порожниною конфузора 5.

Відділений від повітря вже на перших витках, пил через вертикальні жалюзі 7 з циліндра 6 через конфузор 5 та горизонтальні щілини розвантажувача 4 попадає в порожнину бункера безпосередньо під відбійною

шайбою, у той час як пила з сепараційної камери через щілини розвантажувача 2 вільно зсипається в бункер через кільцевий зазор між відбійною шайбою та стінкою циліндричного корпусу 1.

Ексцентрична установка осевого витіснювача 3 відносно осі циліндра 6 при проходженні через нього аерозолі викликає досить мілку вібрацію, яка передається через первинний завихрувач на сепараційну камеру і попереджає налипання пилу на поверхні її конструктивних елементів.

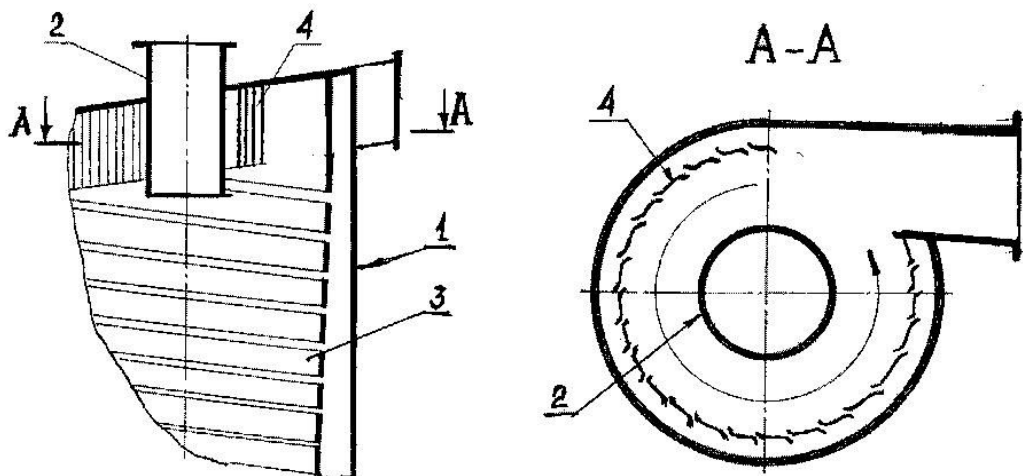


Рисунок 3.4 – Конструктивне оформлення вторинного завихрителя: 1 – корпус; 2 – вихідний патрубок; 3 – конічна гвинтова сепараційна камера; 4 – жалюзійний розвантажувач.

Попереднє розвантаження пилу з вторинного завихрувача забезпечується вертикальними щілинами жалюзі розвантажувача 4, який вгорі переходить безпосередньо у гвинтову сепараційну камеру 3.

Таким чином, попереднє вивантаження частинок пилу з завихрувачів, які вже на перших витках відділяються від запиленого повітря, сприяє зменшенню концентрації пилу в сепараційній камері.

Вихідний патрубок. Вихідний патрубок ВАЗЗПЦ є визначальним елементом, в якому продовжуються процеси, що протікають в сепараційній камері.

Дослідження впливу різних по конструкції розкручуючих пристроїв на стабільність гідродинаміки і ефективність роботи ВАЗЗПЦ більш ґрунтовно

викладені в роботі [120]. За результатами теоретичних досліджень [137] та експериментальних випробувань було запропоновано доочищувати потік, що відводиться через вихідний патрубок і містить певну кількість остаточного пилу, з використанням спеціального контактного модуля (КМ) мокрого очищення, конструкція якого детально описана в патенті [99].

КМ пропонується встановлювати безпосередньо на вихідному патрубку, використовуючи утворений в ньому гідродинамічний режим.

Схематично варіант конструктивного оформлення КМ мокрого очищення показаний на рис. 3.5.

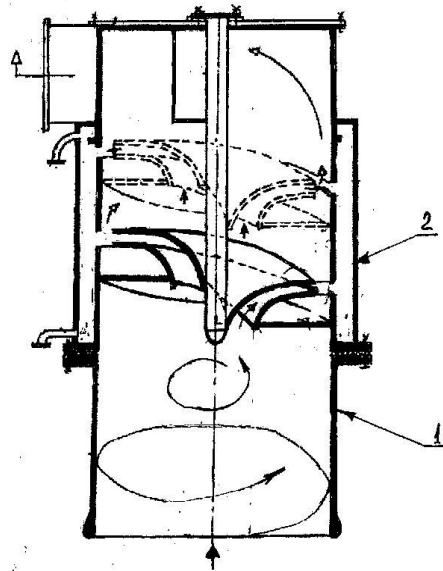


Рисунок 3.5 – Варіант конструкції контактної камери: 1– вихідний патрубок ; 2 – контактний модуль.

Контактний модуль мокрого очищення 2 встановлюється і закріплюється на вихідному патрубку 1, з якого запилений потік у вигляді двох вихорів – зовнішнього і внутрішнього – надходить у контактні ступені, де частинки пилу набувають обертального руху і контактують з вільно стікаючою по стінці плівкою рідини. Модуль влаштований таким чином, що забезпечує неперервне поновлення поверхні рідини та її відведення. Суттєва відзнака нової моделі КМ міститься в наданні частинкам пилу обертального руху навкруги власної осі, що сприяє подоланню нею пограничного шару рідини із значно

меншою енергією входження.

Пилозбірний бункер. Пилозбірний бункер для пиловловлювача моделі ВАЗЗПЦ є елементом, в якому розміщується первинний завихрувач, а конічна його частина виконує роль буфера, в якому збирається частка уловленого пилю і забезпечує пиловий затвор між сепараційною камерою та вивантажувальним механізмом.

Вплив пилозбірного бункера на ефективність роботи ВАЗЗПЦ може проявитися тільки у випадку виникнення підсмоктувань повітря через нещільності фланцевого з'єднання вивантажувального штуцера з механізмом видалення пилю.

3.3 Напрямки застосування вихрових апаратів

Інноваційні конструкції високоефективного технологічного обладнання поліфункціонального призначення можуть з'являтися як за результатами нових наукових даних щодо конкретних технологічних процесів, так і в результаті конструкційної адаптації відомих моделей апаратів до умов процесів, які підлягають реалізації. Відомо, що принципово нові конструкції технологічної апаратури створюються методами, що базуються на відомих принципах пошуку нових технічних рішень.

На відміну від гідродинаміки однопоточних циклонів, які використовуються виключно для сухого чи мокрого очищення заповнених потоків, то в багатопоточних системах закручених потоків існують умови для управління активною гідродинамікою в досить широких межах її режимних параметрів, що дає можливість проводити деякі технологічні процеси.

Концепції багатофункціональних вихрових апаратів, що розробляються для будь-яких технологічних процесів, базуються на даних, до складу яких входять такі визначні параметри технологічного процесу як продуктивність, швидкості повітряних (газових) і матеріальних потоків, необхідний час перебування оброблюваного матеріалу в робочій зоні.

Активна гідродинаміка в системах зустрічно направлених закручених потоків, утворювана в моделі ВАЗЗПЦ, окрім відцентрового очищення запошених потоків, дозволяє розширити галузь його використання. Використання апаратів з АГР на виробництві може бути для нього економічно вигідним.

Так, після відповідної реконструкції модель ВАЗЗПЦ може стати придатною для проведення наступних процесів :

- сушіння високовологих сипких дисперсних матеріалів (порошків, гранул тощо) та таких, що важко піддаються сушінню;
- сушіння на інертних тілах паст и концентрованих суспензій ;
- абсорбції і адсорбції ;
- мокрого очищення газів (скрубрування у плівковому чи пінному режимах, на інертних тілах і т.і.) ;
- приготування розчинів ;
- змішування в гомо- і гетерофазних системах ;
- класифікації (фракціонування) полідисперсних матеріалів ;
- зволоження і кондиціонування повітря ;
- грануляції тонкодисперсних матеріалів: органічних барвників, пігментів, мінеральних добрив, харчових продуктів, фармацевтичних препаратів) ;
- подрібнення матеріалів стиранням ;
- шліфування отворів і поверхонь у важкодоступних місцях ;
- процесів високотемпературної (плазмохімічної) обробки полідисперсних систем.

Так, наприклад, в процесах відновлення розплавів за допомогою вуглецевих частинок, використання нового способу взаємодії фаз дозволить інтенсифікувати пірометалургійний процес за рахунок більш ефективного

«впровадження» твердої фази в вільно стікаючу плівку розплаву. Відомі також процеси, що вимагають точного дозування тонкодисперсних матеріалів в рідку фазу, наприклад в процесах синтезу напівпродуктів і барвників, при

суспендуванні, розчиненні, змішуванні, впровадженні сипких матеріалів у високов'язкі рідкі композиції - високомолекулярні сполучення (карбамідно-формальдегідні смоли, латекси, мастила) - при їх фарбуванні, введенні відносно невеликих за обсягом добавок (стабілізаторів, пластифікаторів, твердофазних диспергаторів, прискорювачів твердіння смол, антиоксидантів, різного рода поверхнево-активних речовин (ПАР), трасерів та інших компонентів) в рідину. Вказані процеси можуть проводитися в модернізованій та адаптованій моделі ВАЗЗПЦ.

Перспективним застосуванням нового способу взаємодії фаз є процеси змішування певних речовин, що знаходяться в різному агрегатному стані. Так, відомі процеси змішування спеціально підготовлених рідкофазних систем, одна з яких попередньо переводиться у твердофазний стан, наприклад, шляхом заморожування. При цьому дисперсна тверда фаза попередньо і в необхідному співвідношенні рівномірно розподіляється в рідині з наступним криогенним впливом на утворювану у такий спосіб систему. Використання конструкції контактного модуля по патенту [99] для такого процесу може бути ефективним і економічно вигідним.

При конструюванні технологічної апаратури відмінного від пиловловлювання призначення необхідно, насамперед, чітко визначитись з особливостями та фізичною сутністю самого процесу, що планується проводити. Далі, змінюючи окремі елементи конструкції моделі ВАЗЗПЦ, або доповнюючи її певними функціональними виробами, створюють таку конструкцію апарата, гідродинаміка якого в максимальній мірі відповідає б характеру процесу.

В загальному випадку конструктивне переобладнання типової моделі ВАЗЗПЦ для реалізації різних технологічних процесів може здійснюватися шляхом наприклад модульного конструювання, що сприятиме підвищенню рівня стандартизації і уніфікації типових елементів.

РОЗДІЛ 4

ОХОРОНА ПРАЦІ

Охорона праці – це система законодавчих актів, соціально-економічних, організаційних, технічних, гігієнічних і лікувально-профілактичних заходів і засобів, спрямованих на створення безпечних умов, збереження здоров'я та працездатності людини в процесі праці.

Охорона праці в нашій країні ґрунтується в подальшому на полегшенні і оздоровленні умов праці на основі механізації і автоматизації тяжких і шкідливих виробничих процесів, широкому впровадженню сучасних засобів техніки безпеки, усуненню причин, що породжують травматизм і професійні захворювання робітників і службовців, створенню на виробництві необхідних гігієнічних і санітарно-побутових умов.

Україна у своїй політиці в галузі охорони праці виходить з пріоритету життя і здоров'я працюючих по відношенню до результатів виробничої діяльності підприємств. Держава ставить перед власниками підприємств, організацій завдання по створенню сприятливих та безпечних умов праці, недопущення нещасних випадків на виробництві, професійних захворювань, зведення до мінімуму впливу на працівників шкідливих та небезпечних факторів матеріально-виробничого середовища та персональну відповідальність за їх виконання.

Система управління охороною праці (СУОП) - це сукупність взаємопов'язаних органів управління підприємством /підрозділом/, які на підставі комплексу нормативної документації проводять цілеспрямовану, планомірну діяльність по здійсненню відповідних функцій і методів управління трудовим колективом з метою виконання поставлених завдань і заходів з охорони праці.

Створення СУОП здійснюється шляхом послідовного визначення мети роботи об'єкта і органів управління, завдань і заходів з охорони праці, функцій і

методів управління, побудови організаційної структури управління, складання організаційно-методичної документації.

Метою управління охороною праці є збереження здоров'я і працездатності людини в процесі праці, поліпшення виробничого побуту, попередження травматизму і профзахворювання.

Об'єктом управління охороною праці є діяльність структурних підрозділів, функціональних служб і всього колективу підприємства по забезпеченню здорових і безпечних умов праці на робочих місцях, виробничих ділянках і підприємстві в цілому.

Управління охороною праці здійснюють : на підприємстві керівник, виробничих ділянках і в службах - керівники відповідних підрозділів і служб. Керівник забезпечує функціонування СУОП на підприємстві.

Організаційно-методичну роботу по управлінню охороною праці, організацію і контроль за функціонуванням СУОП на підприємстві і в усіх структурних підрозділах здійснює служба охорони праці, яка підпорядкована безпосередньо керівнику підприємства.

Нормативною базою СУОП є: Національна програма поліпшення стану безпеки, гігієни праці та виробничого середовища, Закон України "Про охорону праці", постанови Кабінету Міністрів України, Кодекс законів про працю України, інші законодавчі нормативні документи /діючі стандарти, правила, положення, інструкції, постанови, вказівки Державного нагляду охорони праці.

Управління охороною праці повинно здійснюватися на всіх стадіях життєвого циклу підприємства: при науково-дослідних, проектних, будівельних, монтажних, налагоджувальних роботах, під час експлуатації, а також при ремонтних і демонтажних роботах на всіх етапах виробничої діяльності. Виходячи з цього визначаються відповідні завдання управління охороною праці, встановлюється мета управління по кожному завданню, підрозділ або функціональна служба, відповідальна за виконання даного завдання, встановлюються критерії ефективності управління.

Директор і керівники підрозділів розробляють за участю профспілок і реалізують комплексні заходи для досягнення встановлених нормативів з охорони праці, впроваджують прогресивні технології, досягнення науки, техніки, засоби механізації та автоматизації виробництва, позитивний досвід з охорони праці.

Процес управління виконанням завдань охорони праці на підприємстві і в кожному підрозділі здійснюється керівником підприємства /підрозділу/ шляхом послідовного виконання таких функцій управління:

1. Прогнозування і планування робіт з охорони праці.
2. Організація роботи.
3. Оперативне керівництво і координація.
4. Стимулювання.
5. Контроль, облік, аналіз роботи з охорони праці.

Прогнозування роботи з охорони праці на підприємстві і в його підрозділах здійснюється керівниками підприємства і його підрозділів на підставі аналізу причин травматизму та профзахворювань, а також шляхом збору пропозицій робітників та інженерно-технічних працівників, враховуючи вимоги нормативної документації, а також по результатах атестації і паспортизації умов праці, визначають необхідні заходи з охорони праці.

Планування робіт з охорони праці підприємства включає розробку таких планів:

- розділ "Охорона праці" у колективному договорі;
- оперативний/квартальні, місячні/плани;

Вихідними даними для роботи і розробки планів з охорони праці є результати паспортизації і атестації умов праці на робочих місцях, результати вивчення причин травматизму і захворювань, матеріали цільових перевірок стану охорони праці, виконання попередніх планів.

Організація процесу управління охороною праці здійснюється шляхом розробки на підприємстві Положення "Про обов'язки і відповідальність посадових осіб і працівників щодо охорони праці" та його виконання.

Оперативне керівництво і координація роботи з охорони праці здійснюється керівництвом підприємства і його підрозділів шляхом застосування відповідних методів управління: організаційно-розпорядчих; соціально-психологічних і економічних.

Організаційно-розпорядчі методи включають в себе виконання посадових обов'язків з охорони праці, видання і виконання наказів, розпоряджень, постанов.

Соціально-психологічні методи управління включають в себе: навчання і виховання персоналу, проведення інструктажів, моральне стимулювання, особистий приклад керівника щодо виконання вимог охорони праці. Для попередження травматизму слід для відповідальних професій застосовувати профвідбір і профорієнтацію, попереджувати допуск до роботи людей у хворобливому і нетверезому стані, вести боротьбу зі шкідливими звичками, підвищувати культуру виробництва.

Економічні методи управління охороною праці полягають в матеріальному стимулюванні роботи з охорони праці.

Контроль, облік і аналіз роботи з охорони праці здійснюють генеральний директор, служба охорони праці, головні спеціалісти, керівники виробничих ділянок згідно посадових обов'язків.

Основними видами контролю за станом охорони праці є :

- повсякденний контроль з боку керівників робіт, та інших посадових осіб;
- контроль з боку служби охорони праці підприємства;
- контроль з боку уповноваженого з охорони праці трудового колективу;
- нагляд з боку інспекторів Держнаглядохоронпраці.

Повсякденний контроль щодо попередження травматизму і профзахворювань проводиться керівниками всіх рівнів підприємства шляхом виявлення порушників безпечних методів праці і порушень правил і норм з охорони праці і прийнятті до порушників заходів дисциплінарного, громадського та матеріального впливу.

Керівник дільниці, механік перед початком роботи перевіряє стан робочих місць, справність механізмів, машин, обладнання і на протязі всього робочого дня здійснює контроль за виконанням підлеглими робітниками правил і інструкцій з охорони праці, додержанням встановленої технології виконання робіт.

У разі виявлення порушень інструкцій з охорони праці керівник робіт зобов'язаний провести з порушником позаплановий інструктаж, зробити запис в журналі оперативного контролю про прийняті до порушника заходи і усунення недоліків.

При порушенні вперше застосовується:

- позачергова перевірка знань з охорони праці;
- обговорення у трудовому колективі;
- накладання дисциплінарного стягнення.

При порушенні протягом року вдруге, відповідно:

- обговорення на зборах трудового колективу, комісії з охорони праці;
- при раніше накладеному дисциплінарному стягненні - звільнення з роботи

Фінансування робіт з охорони праці здійснюється генеральним директором на основі фонду охорони праці.

Розроблені і затверджені наказами керівників відповідні положення підприємства про навчання з питань охорони праці, формуються плани - графіки проведення навчання і перевірки знань з питань охорони праці, з якими повинні бути ознайомлені працівники.

Працівники підприємств при прийомі на роботу і періодично в процесі роботи проходять навчання і перевірку знань. Допуск до роботи без навчання і перевірки знань з питань охорони праці забороняється.

Формою перевірки знань з питань охорони праці працівників є іспит, що проводиться по екзаменаційних квитках у виді усного чи опитування, шляхом тестування на автоекзаменаторі з наступним усним опитуванням.

Результати перевірки знань працівників з питань охорони праці оформляються протоколом.

Особам, що при перевірці знань з питань охорони праці показали задовільні результати, видаються посвідчення.

Відповідальність за організацію і здійснення навчання і перевірки знань працівників з питань охорони праці відповідно до вимог «Типового положення» покладається на керівника підприємства, у структурних підрозділах (лабораторії, майстерні і т.п.) - на керівників цих підрозділів, а контроль - на службу охорони праці.

Власник за рахунок коштів підприємства організує проведення попереднього і періодичного медичних оглядів, відшкодовує витрати на лікування, професійну і медичну реабілітацію осіб із професійними захворюваннями, обстеження конкретних умов праці для складання санітарно-гігієнічної характеристики.

Результати попереднього і періодичного медичних оглядів, щорічних медичних оглядів осіб віком до 21 року та висновки про стан здоров'я заносяться в "Картку особи, яка підлягає медичному огляду" , та зберігаються на підприємстві.

Результати завершених медичних оглядів протягом місяця оформляються заключним актом, який складається у чотирьох примірниках (для лікувально-профілактичного закладу, власника, профспілкового комітету, санітарно-епідеміологічної станції).

На час проходження медогляду, обстеження в профпатологічних центрах, клініках науково-дослідних і медичних інститутах (університетах) для уточнення діагнозу або визначення ролі виробничих факторів у розвитку захворювань за працюючими зберігається місце роботи (посада) і середній заробіток.

Звітність за результатами медичних оглядів здійснюється у порядку, встановленому Міністерством охорони здоров'я України.

Фінансування охорони праці здійснюється підприємством, витрати на охорону праці становлять 0,5 відсотка від фонду оплати праці за попередній рік (із ст.19 частини 3 Закону України "Про охорону праці").

Суми витрат, сплачених (нарахованих) у зв'язку з прийняттям заходів і придбанням засобів по охороні праці, що є складовою частиною підготовки, організації і ведення виробництва, а також суми заробітної плати виконавців робіт або інші витрати на заходи і засоби по охороні праці відповідно до переліку повинні враховуватися в складі валових витрат (із Постанови Кабінету Міністрів України від 27.06. 2003 р. № 994).

Важливим елементом охорони праці робітників товариства є своєчасне і якісне проведення інструктажів. Всі посадові особи до початку виконання своїх обов'язків проходять перевірку знань із охорони праці. Перевірка знань включає проведення інструктажу, навчити працівників правильно і безпечно для себе і оточуючих виконувати свої трудові обов'язки. За часом і характером проведення, інструктажі поділяються:

1. Вступний інструктаж – проводиться з усіма працівниками, які щойно прийняті на роботу, незалежно від їх освіти, інструктаж проводить інженер з охорони праці. Після його проведення працівники розписуються в спеціальному журналі.

2. Первинний інструктаж – проводиться на робочому місці до початку роботи з прийнятим на роботу працівником. Первинний інструктаж проводиться індивідуально. Програма інструктажу розробляється керівником цеху і затверджується, роботодавцем, керівником. Усі робітники після первинного інструктажу повинні пройти на робочому місці стажування протягом 2-15 змін під керівництвом спеціалістів.

3. Повторний інструктаж – проводиться на робочому місці з усіма працівниками: на роботах з підвищеною небезпекою – один раз на квартал. Проводиться інструктаж індивідуально або для групи осіб. Для решти робіт проводиться позаплановий, цільовий інструктаж один раз на шість місяців.

4. Позаплановий інструктаж – проводиться з працівниками на робочому місці або в кабінеті охорони праці у випадках:

- при введенні в дію нових або змінених нормативних актів про охорону праці;
- при зміні технологічного процесу, заміні або модернізації устаткування, приладів та інструментів, вихідної сировини, матеріалів та інших факторів, що впливають на охорону праці;
- при перерві в роботі виконавця робіт більше, ніж 30 календарних днів (для робіт із підвищеною небезпекою), а для решти робіт – більше 60 днів.

5. Цільовий інструктаж – проводиться з працівниками у випадках: при виконанні разових робіт, що не пов'язан безпосередньо з основними роботами працівника; при ліквідації наслідків аварії і стихійного лиха; при виконанні робіт, що оформляються нарядом-допуском, письмовим дозволом та іншими документами.

Аналіз умов праці ставить собі за мету виявлення причин та травмуючих чинників, що є характерними для даного технологічного процесу, для конкретного робочого місця та визначення їх впливу на рівень травматизму, стан здоров'я та працездатність працюючих для підвищення рівня безпеки галузевих виробництв.

За порушення законодавства про охорону праці та невиконання приписів (розпоряджень) посадових осіб органів виконавчої влади з нагляду за охороною праці юридичні та фізичні особи, які відповідно до законодавства використовують найману працю, притягаються органами виконавчої влади з нагляду за охороною праці до сплати штрафу в порядку, встановленому законом. Сплата штрафу не звільняє юридичну або фізичну особу, яка відповідно до законодавства використовує найману працю, від усунення виявлених порушень у визначені строки.

Максимальний розмір штрафу не може перевищувати п'яти відсотків середньомісячного фонду заробітної плати за попередній рік юридичної чи фізичної особи, яка відповідно до законодавства використовує найману працю.

За порушення вимог, передбачених частинами третьою і четвертою статті 19 цього Закону, юридична чи фізична особа, яка відповідно до законодавства використовує найману працю, сплачує штраф із розрахунку 25 відсотків від різниці між розрахунковою мінімальною сумою витрат на охорону праці у звітному періоді та фактичною сумою цих витрат за такий період.

Несплата або неповна сплата юридичними чи фізичними особами, які відповідно до законодавства використовують найману працю, штрафу тягне за собою нарахування пені на несплачену суму штрафу (його частини) з розрахунку 120 відсотків річних облікової ставки Національного банку України, що діяла в період такої несплати, за кожен день прострочення.

Кошти від застосування штрафних санкцій до юридичних чи фізичних осіб, які відповідно до законодавства використовують найману працю, посадових осіб і працівників, визначених цією статтею, зараховуються до Державного бюджету України.

Притягнення до відповідальності посадових осіб і працівників за порушення законів та інших нормативно-правових актів з охорони праці здійснюється відповідно до Кодексу України про адміністративні правопорушення.

ВИСНОВКИ

1. Досліджено вплив вихідних пристроїв на гідродинаміку та ефективність роботи вихрових апаратів із зустрічними закрученими потоками з циліндричною сепараційною камерою та безперервним вивантаженням пилу.

2. Показано, що аеродинамічні процеси, які відбуваються у вихідному патрубку, впливають на ефективність роботи вихрового пиловловлювача і його гідравлічний опір .

3. Визначені характерні режими течії у проточній частині вихідного патрубку в залежності від ступеня закрученості повітряного потоку.

4. Встановлено, що на загальну ефективність пиловловлювання вихрових пиловловлювачів з циліндричною сепараційною камерою впливають параметри бункерної частини та надійність ущільнення вивантажувального патрубку пилу.

5. Визначені основні зони для конструктивної модернізації основних функціональних вузлів вихрових апаратів з циліндричною сепараційною камерою з метою поліпшення їхніх визначних параметрів роботи.

6. Розроблена і запатентована інноваційна модель вихрового пиловловлювача з гвинтовою сепараційною камерою і вузлами попереднього безперервного вивантаження пилу.

7. Розроблено і запатентовано конструкцію контактного модуля мокрого очищення, що встановлюється безпосередньо на вихідному патрубку ВАЗЗПЦ і дозволяє підвищити рівень загальної і фракційної ефективності пиловловлювання.

ПЕРЕЛІК ДЖЕРЕЛ ПОСИЛАННЯ

1. Лукин, В. Д. Очистка вентиляционных выбросов в химической промышленности [Текст] / В. Д. Лукин, М. И. Курочкина. – Л. : Химия, 1980. – 232 с.
2. Коузов, П. А. Очистка от пыли газов и воздуха в химической промышленности [Текст] / П. А. Коузов, А. Д. Мальгин, Г. М. Скрыбин. – Л. : Химия, 1982. – 256 с.
3. Примак, А. В. Защита окружающей среды на предприятиях стройиндустрии [Текст] / А. В. Примак, П. Б. Балтернас. – К. : Будівельник, 1991. – 152 с.
4. Банит, Ф. Г. Пылеулавливание и очистка газов в промышленности строительных материалов [Текст] / Ф. Г. Банит, А. Д. Мальгин. – М. : Стройиздат, 1979. – 352 с.
5. Ужов, В. Н. Очистка промышленных газов от пыли [Текст] \ В. Н. Ужов, А. Ю. Вальдберг, Б. И. Мягков, И. К. Решидов. – М.: Химия, 1981.–392 с.
6. Страус, В. Промышленная очистка газов [Текст] : Пер. с англ. / В. Страус. М. : Химия, 1981. – 616 с.
7. Кузнецов, И. Е. Оборудование для санитарной очистки газов [Текст] : Справочник / Под общей ред. д-ра техн. наук И. Е. Кузнецова / И. Е. Кузнецов, К. И. Шмат, С. И. Кузнецов. – К. : Техніка, 1989. – 304 с.
8. Якуба, А. Р. Оценка эффективности улавливания пыли циклонами и вихревыми аппаратами [Текст] / А. Р. Якуба, Б. С. Сажин, В. Н. Галич [и др.] // Химическая промышленность, 1984, № 7. – С. 431–432.
9. Сажин, Б. С. Вихревые пылеуловители [Текст] / Б. С. Сажин, Л. И. Гудим. М. : Химия, 1995. – 94 с.
10. Галич, В. Н. Многофункциональные вихревые аппараты с активным гидродинамическим режимом [Текст] / В. Н. Галич, В. Е. Секачѳв. – М. : МИПК, 1991. – 44 с.
11. Гудим, Л. И. Разработка, исследование и внедрение в

промышленность первичной переработки текстильного сырья высокоэффективных систем очистки воздуха вихревыми пылеуловителями [Текст] : дис докт. техн. наук / Л. И. Гудим. – М., 1992. – 403 с.

12. Якуба, А. Р. Гидродинамика и эффективность пылеуловителей с закрученными потоками в процессах химической технологии красителей, пигментов и вспомогательных веществ [Текст] : дис. . докт. техн. наук / А. Р. Якуба. – Суми, 1996. – 378 с.

13. Коузов П. А. Единая методика сравнительных испытаний пылеуловителей для очистки вентиляционного воздуха [Текст] / П. А. Коузов, Г. А. Иофинов. – Л. : ВНИИОТ, 1967. – 104 с.

21. Галич, В. Н. Повышение эффективности работы центробежных пылеуловителей за счёт применения встречных закрученных потоков [Текст]: дис. . канд. техн. наук. / В. Н. Галич. – М. : МТИ, 1984. – 221 с.

22. А.с. 731993 СССР, МПК В04С 7/00. Вихревой пылеуловитель для очистки запылённых газов / Г. И. Ефремов, В. Н. Ладыжский, И. А. Попов, Б. С. Сажин. Оpubл. 1980. Бюл. № 17.

23. А.с. 1058625 СССР, МПК В04С 3/06. Вихревой пылеуловитель / А. Р. Якуба, А. В. Недбайло и др. Оpubл. 1983. Бюл. № 45.

24. А.с. 1286297 СССР, МПК В04С 3/06. Аппарат для разделения сред во встречных закрученных потоках / И. А. Петров, С. Ф. Шургальский, Е. В. Фролов и др. Оpubл. 1987. Бюл. № 4.

41. А.с. 1103883 СССР, МПК В01D 45/12, В04С 7/00. Вихревой пылеуловитель / Б. С. Сажин, В. Н. Галич, Л. И. Гудим и др. Оpubл. 1984. Бюл. № 27.

42. А.с. 193472 СССР, МПК В04С 3/06. Вихревой пылеуловитель / Л. И. Гудим, Б. С. Сажин, В. Н. Галич. Оpubл. 1985. Бюл. № 9.

43. А.с. 1233948 СССР, МПК В04С 3/06. Вихревой пылеуловитель / Б. С. Сажин, Т. А. Баскина и др. Оpubл. 1986. Бюл. № 20.

44. А.с. 1327980 СССР, МПК В04С 3/06, 5/18. Вихревой пылеуловитель / Б. С. Сажин, Б. П. Лукачевский и др. Оpubл. Б.И., 1987, № 29.

45. А.с. 1535642 СССР, МПК В04С 7/00. Вихревой пылеуловитель / В. Н. Галич. Опубл. 1990. Бюл. № 2.
46. А.с. 1346200 СССР, МПК В04D 45/00, В04С 5/08. Вихревой пылеуловитель / В. С. Гурьев, А. В. Шушляков и др. Опубл. 1987. Бюл. № 39.
47. Мухутдинов, Р. Х. Результаты испытаний вихревых пылеуловителей / Р. Х. Мухутдинов, В. К. Маслов, П. И. Корнилаев // Промышленная и санитарная очистка газов. – М. : ЦИНТИХимнефтемаш, 1980, № 33. – С9–10.
48. Разработка аппарата с вращающимся потоком газа. Отчёт СФ НИИОГАЗ, тема № 42–63. Ростов–Ярославский, 1965. – 63 с.
49. Исследование вихревого высокоэффективного пылеотделителя с рециркуляцией для химической промышленности и других производств [Текст] // Отчёт СФ НИИОГАЗ, тема № 58–69. Ростов–Ярославский, 1969. – 20 с.
50. Стендовые испытания экспериментального вихревого пылеуловителя со вторичным потоком газа «Вихрь-600» и выдача рекомендаций на его применение [Текст] // Отчёт Семибратовского филиала НИИОГАЗ, 1981. – (Тема № 3254– 81– 7– 2.4). – Семибратово, Ярославская обл.
51. Медников, Е. П. Вихревые пылеуловители [Текст] / Е. П. Медников. — М.:ЦИНТИХимнефтемаш. Серия ХМ-9, 1975.
52. Сажин, Б. С. Однопараметрическая математическая модель гидродинамики сушильного аппарата со встречными закрученными потоками / Б. С. Сажин, Б. П. Лукачевский и др. // ТОХТ, 1976, т. XI, № 4.
53. Сажин, Б. С. Моделирование гидродинамики аппарата со встречными закрученными потоками [Текст] / Б. С.Сажин, Б. П. Лукачевский, З. И. Джохадзе, В. Н. Галич // «Водоснабжение и теплоснабжение». Труды Грузинского политехнического института. – Тбилиси, 1984. – С. 132–137.
54. Сажин, Б. С. Аэродинамика и эффективность пылеулавливания много- функциональных аппаратов со встречными закрученными потоками [Текст] / Б. С. Сажин, Л. И. Гудим, Т. Ю. Векуа, М. В. Суворов // Известия

ВУЗов. Технология текстильной промышленности, 1984, № 6. – С. 66–68.

55. Белоусов, А. С. Структура потоков в циклоне [Текст] / А. С. Белоусов, Б. С. Сажин, А. В. Лопаков и др. // Успехи в химии и химической технологии // РХТУ им. Д. И. Менделеева, 2006, т. 20, №9 (67). – С.121–123.

56. Белоусов, А. С. Структура потоков в конических вихревых аппаратах [Текст] / Б. С. Сажин, Б. П. Лукачевский, Л. И. Гудим и др. // ТОХТ, 1986. Т. 11, № 4.

57. Сажин, Б. С. Моделирование и исследование гидродинамики аппаратов со встречными закрученными потоками [Текст] / Б. С. Сажин, А. С. Белоусов, Т. Ю. Векуа // 2-е Всесоюзн. научно-техн. совещание «Создание и внедрение современных аппаратов с активными гидродин. режимами для промышл. и произв. хим. волокон». – М. : МТИ, 1981. – С. 5.

58. Белоусов, А. С. Структура потоков в аппаратах со взвешенным слоем [Текст] / А. С. Белоусов, Б. С. Сажин, Е. В. Отрубьянников // Химическая технология, 2008. Т. 9. № 7.– С.332–336.

59. Сажин, Б. С. Удерживающая способность и структура потоков в вихревых аппаратах [Текст] / Б. С. Сажин, Л. М. Кочетов, А. С. Белоусов // Теоретические основы химической технологии, 2008. Т. 42, № 2. – С. 125–135.

60. Белоусов, А. С. Исследование структуры закрученных потоков с дисперсной фазой [Текст] / А. С. Белоусов, Б. С. Сажин, В. Б. Сажин и др. // Сборник тез. докл. Междунар. конф. по химической технологии «ХТ– 07», Т.2 // Под ред. А. А. Волошкина. М.: ЛЕНАНД, 2007. – С.134– 136.

61. Белоусов, А. С. Влияние режима работы и конструкции на характеристики вихревого аппарата [Текст] / А. С. Белоусов, Б. С. Сажин, А. В. Лопаков // Успехи в химии и химической технологии. Т. 20. М. : РХТУ им. Д. И. Менделеева. 2006, № 2 (60). – С. 94–97.

62. Белоусов А. С. Поля скоростей в вихревых аппаратах [Текст]/А.С. Белоусов, Б. С. Сажин // Известия вузов. Технология текстильной промышленности. 2006, № 2. – С. 100–105.

63. Сажин Б. С. Турбулентные и вихревые течения в аппаратах со

встречными закрученными потоками [Текст] / Б. С. Сажин, А. С. Белоусов // Межвузовский сборник научных трудов «Аппараты с активными гидродинам. режимами для текстильной промышл. и производства хим. волокон». – М. : МТИ., 1983. – С.17–21.

64. Векуа, Т. Ю. Исследование гидродинамики многофункциональных аппаратов со встречными закрученными потоками [Текст] : дис. ... канд. техн. наук / Т. Ю. Векуа. – М. : МТИ, 1979. – 220 с.

65. Фокин, И. Ф. Исследование процесса сушки и разработка рациональной конструкции аппаратов для сушки дисперсных материалов в закрученных потоках [Текст]. Автореферат Дисс. канд. наук. – М. : МТИ, 1981.

66. Буяров, А. И. Выбор гидродинамических режимов для сушки материалов во встречных закрученных потоках [Текст] : дисс. ... канд. техн. наук. / А. И. Буяров. – М. : МТИ, 1982. – 202 с.

67. Гудим, Л. И. Сравнительные испытания пылеуловителя со встречными закрученными потоками и циклона ЦН-15 [Текст] / Л. И. Гудим, Б. С. Сажин // 2-я Всесоюзн. научн. конф. «Повышение эффективности тепло-массо-обменных и гидродинам. процессов текстильной промышл. и производства химических волокон». М. : МТИ, 1985. – С. 101.

68. Акулич, А. В. Разработка безуносного вихревого аппарата для сушки дисперсных материалов [Текст] : дис. ... канд. техн. наук. / А. В. Акулич. – М. : МТИ. – 1987. – 39 с.

69. Якуба, А. Р. Сравнение эффективности улавливания циклонами и вихревыми пылеуловителями [Текст] / А. Р. Якуба, В. Н. Галич // 2-е Всесоюзн. научно-технич. совещание «Создание и внедрение современных аппаратов с активными гидродинамич. режимами для текстильной пром. и произв. химич. волокон». М. : МТИ, 1981. – С. 95.

70. Омельчук, В. С. Камера орошения со встречными закрученными потоками и её типоразмеры [Текст] / В. С. Омельчук, З. И. Джохадзе // 2-я Всесоюзная научно-техн. конфер. «Повышение эффективности тепло-массо-обм. и гидродинамич. процессов текстильной промышл. и производства хим.

волокон». – М. : МТИ, 1985. – С. 102–103.

71. Галич, В. Н. Абсорбция в многофункциональных вихревых аппаратах [Текст] / В. Н. Галич, Д. И. Белкин, Р. В. Галич // Сборн. научн. трудов «Работы в области массообменных процессов за период 1986–1990 гг. по координац. плану головного подразделения (абсорбция, ректификация, экстракция)». – Северодонецк, 1989. – С. 108–110.

72. Якуба, А. Р. Оценка эффективности улавливания пыли циклонами и вихревыми аппаратами [Текст] / А. Р. Якуба, Б. С. Сажин, В. Н. Галич // Химическая промышленность, 1984, № 7. – С. 431–432.

73. Якуба, А. Р. Расчёт гидравлического сопротивления центробежных пыле- уловителей со встречными закрученными потоками [Текст] / А. Р. Якуба, В. М. Герасимив и др. // Вісник СумДУ. Науковий журнал. Серія : Технічні науки (Машинобудування) – Суми : СумДУ, 2000. – С. 8–9.

74. Якуба, А. Р. Структура потоков аппаратов со встречными закрученными потоками [Текст] / А. Р. Якуба, В. М. Герасимив, С. А. Тимчук // VI Междунар. Конференция «Гидромеханика в инженерной практике». – Киев–Харьков, 2001. – С. 8–16.

75. Герасимив, В. М. Расчёт фракционной эффективности аппаратов со встречными закрученными потоками [Текст] / В. М. Герасимив, А. Р. Якуба // Вісник СумДУ. Науковий журнал. Серія : Технічні науки (Машинобудування) – Суми : СумДУ, 2002, № 9. – С. 60–67.

76. Герасимив, В. М. Структура потоков АВЗП [Текст] / В. М. Герасимив, А. Р. Якуба, С. А. Тимчук // Вісник сумської аграрної академії. Науковий журнал. – Суми : СНАУ, 2002, № 9. – С.135–138.

77. Якуба, А. Р. Исследование вращающегося потока в выходном патрубке вихревого аппарата со встречными закрученными потоками [Текст] / А. Р. Якуба, Н. И. Азаров, Р. В. Галич, В. Н. Галич, В. К. Кияшко // VI Міжнар. науково-практ. конференція “Наука і освіта 2003”. Технічні науки. – Дніпропетровськ : Наука і освіта, 2003, т. 12. – С. 52–53.

78. Галич, Р. В. Вихревые аппараты с контактным модулем [Текст] / Р.

В. Галич, А. Р. Якуба, С. А. Тимчук, В. Н. Галич // III Міжнар. науково-практ. конф. «Динаміка наукових досліджень «2004». Екологія. – Дніпропетровськ : Наука і освіта, 2004, т. 34. – С.15–16.

79. Якуба, А. Р. О гидравлических потерях в выходном патрубке вихревых аппаратов [Текст] / А. Р. Якуба, Р. В. Галич, В. Н. Галич, С. А. Тимчук // III Міжнар. науково-практ. конф. «Динаміка наукових досліджень «2004». Технічні науки. – Дніпропетровськ : Наука і освіта, 2004, т. 60. – С. 72–74.

80. Галич, Р. В. Многофункциональные вихревые аппараты [Текст] / Р. В. Галич, А. Р. Якуба. Науково-практ. конф. студентів, аспірантів і молодих вчених “Технологія – 2004”. – Сєверодонецьк, 2004. – С. 33.

81. Галіч, Р. В. Поле швидкостей в апаратах із зустрічними закрученими потоками [Текст] / Р. В. Галіч, О. Р. Якуба, В. М. Галіч / Вісник СНАУ. Науково-методичний журнал. Серія : Механізація та автоматизація виробничих процесів. – Суми : СНАУ, 2004, вип. 12. – С. 16–20.

82. Якуба, О. Р. Підвищення ефективності очищення і сушіння зерна за рахунок використання вихрових сепараторів [Текст] / О. Р. Якуба, Р. В. Галіч, В. М. Галіч, С. О. Тимчук // Вісник СНАУ. Науково-метод. журнал. Серія : Механізація та автоматиз. виробн. процесів. – Суми : СНАУ, 2005, вип. 13. – С. 52 – 61.

83. Якуба, О. Р. Удосконалення моделей розрахунку структури потоків апаратів із зустрічними закрученими потоками [Текст] / О. Р. Якуба, Р. В. Галіч, О. М. Калашніков // Вісник СНАУ. Науково-метод. журнал. Серія : Механізація та автоматиз. виробн. процесів. – Суми : СНАУ, 2006, вип. 9 (15). – С. 48–55.

84. Якуба, О. Р. Уточнення залежностей фракційної ефективності апаратів із зустрічними закрученими потоками (АЗЗП) [Текст] / О. Р. Якуба, Р. В. Галіч, О. М. Калашніков // Вісник СНАУ. Науково-методичний журнал. Серія : Механізація та автоматизація виробничих процесів. – Суми : СНАУ, 2006, вип. 9 (15). – С. 32–41.

85. Галич, Р. В. Применение вихревых аппаратов в системах

подготовки и сушки зерновых [Текст] / Р. В. Галич, А. Р. Якуба, В. Н. Галич // Збірник наукових праць Луганського національного аграрного університету. Серія : Технічні науки. – Луганськ : ЛНАУ, 2006, № 65/88. – С. 87 – 92.

86. Галіч, Р. В. Модель структури потоків апаратів із зустрічними закрученими потоками [Текст] / Р. В. Галіч, О. Р. Якуба, В. М. Галіч // II Міжнар. науково-практ. конфер. «Дні науки – «2006» (17–28 квітня 2006 р.). Технічні науки. – Дніпропетровськ : Наука і освіта. 2006, т.8. – С. 33–36.

87. Галіч, Р. В. Розрахунок фракційної ефективності апаратів із зустрічними закрученими потоками [Текст] / Р. В. Галіч, О. Р. Якуба, В. М. Галіч // II Міжнар. науково-практ. конф. «Дні науки – «2006» (17– 28 квітня 2006 р.). Екологія. – Дніпропетровськ : Наука і освіта, 2006, т.13. – С. 48–51.

88. Галіч, Р. В. Моделювання процесу сепарації частинок пилу в системі зустрічних закручених потоків [Текст] / Р. В. Галіч, О. Р. Якуба // Друга Всеукраїнська науково-практ. конф. «Актуальні проблеми створення електронних засобів промислових автоматизованих систем» (29-30 листопада 2012р.). – Северодонецьк : СТІ, 2012. – С. 111–113.

89. Якуба, А. Р. Структура потоків в конічних вихревих апаратах [Текст] / А. Р. Якуба, Б. И. Зуган // III Всесоюзн. научно-техн. конф.

«Создание и внедрение соврем. аппаратов с активн. гидродинам. режимами для текстильной промышл. и производства химических волокон М. : ЦНИИТЭИлегпром, 1989. – С. 57.

90. Аэродинамика закрученной струи [Текст] / Под ред. Ахмедова Р. Б. – М. : Энергия, 1977. – 240 с.

91. Пирумов, А. И. Обеспыливание воздуха [Текст] / А. И. Пирумов. – 2-е изд., перераб. и доп. – М. : Стройиздат, 1981. – 296 с.

92. Приходько, В. П. Центробежные каплеуловители с лопастными завихрительями [Текст] / В. П. Приходько, В. Н. Сафонов, Г. К. Лебедюк. (Серия ХМ-9. Промышленная и санитарная очистка газов). – М. : ЦИНТИХИМ– НЕФТЕМАШ, 1979. – 50 с.

93. Якуба, О. Р. Удосконалення моделей розрахунку фракційної

ефективності протитечних пиловловлювачів [Текст] / О. Р. Якуба, Р. В. Галич // Вісник Сумського національного університету (СНАУ). Науково-методичний журнал. Серія : Будівництво. Вип. 8(17), 2013. – С. 118 – 123.

94. Галич, Р. В. Влияние раскручивающих устройств на гидродинамику и энергоэффективность центробежных пылеуловителей [Текст] / Р. В. Галич, А. Р. Якуба, В. И. Склабинский, В. Я. Стороженко // Вопросы химии и химической технологии. 209, № 1. – С. 159–164.

95. Якуба, А.Р. Расчёт гидравлического сопротивления центробежных пылеуловителей со встречными закрученными потоками [Текст] / А.Р. Якуба, С. А. Кузько, А. Н. Калашников и др. // Вісник СумДУ. Науковий журнал. Серія: Технічні науки (Машинобудування) – Суми : СумДУ, 2000, № 15. – С. 8–15.

96. Коузов, П. А. Основы анализа дисперсного состава промышленных пылей и измельченных материалов [Текст] / П. А. Коузов. – 3-е изд. перераб. – Л. : Химия, 1987. – 264 с.

97. Лебедюк, Г. К. Сравнительные измерения дисперсного состава пылей в газовом потоке с помощью различных приборов [Текст] / Г. К. Лебедюк, С. С. Янковский, Н. Г. Булгакова, Л. Я. Градус // Промышленная и санитарная очистка газов. – М. : ЦИНТИХИМНЕФТЕМАШ, 1983, № 3. С. 18–19.

98. Градус, Л. Я. Краткая инструкция по определению дисперсного состава пылей с помощью малогабаритных струйных осадителей [Текст] / Л. Я. Градус, С. С. Янковский. – М. : НИИОГАЗ, 1988. – 26 с.

99. Галич, Р. В. Разработка и внедрение пылеуловителей со встречными закрученными потоками [Текст] / Р. В. Галич // Химическое и нефтегазовое машиностроение, 209, № 3. – С. 12–15.

100. Техническое описание и инструкция по эксплуатации устройства для отбора проб пыли из пылегазовых потоков ПОУ–1 [Текст] // Семибратовский филиал НИИОГАЗ, 1992. – 47 с.

101. Горлин, С. М. Аэромеханические измерения. Методы и приборы

[Текст] / С. М. Горлин, И. И. Слезингер. – М. : Наука, 1984. – 612 с.

102. Испытание обеспыливающих вентиляционных установок [Текст].
Инструктивно-методические материалы. – Ленинград : ЛИОТ, 1971. – 163 с.

103. Булгакова, Н. Г. Инструкция по определению запылённости газов в производственных условиях [Текст] / Н. Г. Булгакова, С. С. Янковский. – М. : НИИОГАЗ, 1978.

104. Yakuba A. The investigation and Working out of drop- and dust catchers for compressor station / A. Yakuba, S. Sabadach, M. Savchenko // International Conference on Compressors and their systems (7–9 september 2009). – Institution of MECHANICAL ENGINEERS, City University London, 2009. – S. 421–431.

105. Рябчиков, С. Я. Пылевыгрузные устройства для аппаратов газоочистки [Текст] / С. Я. Рябчиков, Е. И. Андрианов // Промышленная и санитарная очистка газов (Обзорная информация. Серия ХМ-9. М. : ЦИНТИХИМНЕФ- ТЕМАШ, 1981. – 39 с.

106. Галич, Р. В. К вопросу осаждения твёрдых частиц на поверхность жидкости [Текст] / Р. В. Галич, А. Р. Якуба, В. И. Склабинский, В. Я. Стороженко // Вісник СумДУ. Науковий журнал. Серія : Технічні науки, 2013, № 1. – С. 61–77.

107. Батунер, Л. М. Математические методы в химической технике [Текст] / Л. М. Батунер, Позин М. Е. – Л. : Химия, 1971. – 824 с.

108. Грушко, И. М. Основы научных исследований [Текст] / И. М. Грушко, В. М. Сиденко. – Харьков, «Вища школа», 1983. – 224 с.

109. Бобровников, Н. А. Охрана воздушной среды от пыли на предприятиях строительной индустрии [Текст] / Н. А. Бобровников. – М. : Стройиздат, 1981. – 99 с.

110. Гудим, Л. И. Очистка промышленных газов и воздуха от пыли [Текст] Л. И. Гудим, Б. С. Сажин // М. : МГТУ им. А. Н. Косыгина, 2010. – 116 с.

111. Петрухин, П. М. Борьба с угольной и породной пылью в шахтах

[Текст]. / П. М. Петрухин, Г. С. Гродель, Н. И. Жилиев и др. – 2-е изд., перераб. и доп. М. : Недра, 1981. – 271 с.

112. Галич, Р. В. Очистка воздуха в шахтах Донбасса вихревыми аппаратами со встречными закрученными потоками [Текст] / Р. В. Галич // VI Междунар. научно-практич. конференция «Экономические, экологические и социальные проблемы угольных районов СНГ». – Краснодар, 2013. – С. 15–18.

113. Галич, Р. В. Конструктивное усовершенствование вихревых аппаратов со встречными закрученными потоками [Текст] / Р. В. Галич, А. Р. Якуба, В. И. Склабинский, В. Я. Стороженко // Хімічна промисловість України, 2013, № 3. – С. 75–83.

114. Патент 80028 Україна, МПК В01D 45/12, В04С 7/00. Вихровий пило- уловлювач / Р. В. Галіч, О. Р. Якуба, В. І. Склабінський, В. Я. Стороженко. – № и 2012 13437; заявл. 26.11.12; опубл. 13.05.13, Бюл. № 9. – 6 с.

115. Патент 81163 Україна, МПК В01D 45/12, В04С 7/00. Контактний модуль / Р. В. Галіч, О. Р. Якуба. – № и 2012 9463; заявл. 16.12.12; опубл. 25.06.13, Бюл. № 12. – 4 с.