

УДК 621.928.9

В. А. Батлук, І. М. Козира, Ю. Є. Шелюх, В. Ф. Штанько, Я. В. Мота
Національний університет «Львівська політехніка»

ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНІ ДОСЛІДЖЕННЯ ПРОЦЕСУ ОЧИСТКИ ПОВІТРЯ

Розглядаються конструктивне оформлення апаратів відцентрово-інерційного типу, що поєднують високі швидкості контактування й відцентрову сепарацію фаз, галузь їх застосування та дослідження з визначення ефективності при проведенні комплексних процесів пиловловлювання.

Очистка повітря, дослідження, апарат, відцентрово-інерційний тип

У Донецькій області діє 2000 промислових підприємств, серед яких 800 великі, включаючи 177 особливо небезпечних хімічних виробництв. Міжнародні експерти зазначають, що на планеті немає жодного регіону, де працює сім коксохім заводів з примітивною, давно не застосовуваною технологією виробництва коксу методом «мокрого гасіння» з потужним трубним викидом високотоксичних речовин і золи з важкими й радіоактивними металами (приблизно 0,5 кг/м² території щодня). Сумарний викид в атмосферу всіх підприємств Донеччини становить близько 2 млн т токсичних речовин у рік, або понад 60 т/м² території та 321 кг на кожного жителя. Металургійні, коксохімічні виробництва й теплові електростанції у величезних обсягах «збагачують» атмосферу діоксином і бензопірином, що спричиняє захворювання на рак. Ідентичних виробництв в Україні близько десяти. Негативний антропогенний вплив на природу і людину досяг таких масштабів, що став загрозою існуванню людини.

Для проведення процесів пиловловлювання і газоочистки широко застосовуються апарати із закруткою газового потоку: циклони, вихрові камери, скрубери, швидкісні газопромивачі, плівкові сепаратори тощо. Циклони прямиоточні і більш ефективні протиточні використовуються для індивідуальних процесів сухого пиловловлювання твердих частинок розміром понад 10 мкм. З великої розмаїтості протиточних циклонів (ЦН-11, ЦН-15, ЦН-15У, ЦН-24), а також розроблених пізніше спірально-конічних типу СК-ЦН-34, СК-ЦН-34М, СК-ЦН-40 і спірально-довгоконічних, наприклад типу СДК-ЦН-33, потрібно вибрати високоефективні циклони, які можуть вловити тверді частинки розміром понад 5 мкм при температурі пилогазової суміші, що не перевищує 400–500°C. У вихрових камерах використовують початкову закрутку потоку для інтенсифікації процесів уловлювання; з урахуванням специфіки процесу вони бувають різних конструктивних модифікацій і мають обмежене застосу-

вання. Вихрові пиловловлювачі різняться від циклонів наявністю пристроїв соплового й лопаткового типів, що створюють допоміжний вторинний потік газу, що закручує. Найвигіднішим є використання в ролі вторинного газу запилених пилогазових потоків з оптимальними витратами його 30–35% від первинного. Основними перевагами вихрових пиловловлювачів порівняно з циклонами є більш висока ефективність вловлювання дрібнодисперсного пилу й можливість регулювання цим процесом за рахунок зміни подачі вторинного газу. До недоліків вихрових пиловловлювачів варто віднести необхідність застосування допоміжного вентилятора і складність в експлуатації апарата. Відцентрові циклони і скрубери з водяною плівкою можуть служити для мокрого пиловловлювання і використані для абсорбції та контактного теплообміну. Однак застосування їх обмежується умовою існування припливно-гвинтової взаємодії висхідного пилогазового потоку, що очищається, з несхідним рухом плівки рідини, через що середньовитратна швидкість руху газу по порожньому перетину апарата становить 2,5–5,5 м/с.

Як і в інших конструкціях мокрих пиловловлювачів, де може поєднуватися пиловловлювання з теплообміном або з абсорбцією, застосовуються порожні газопромивачі, форсунокві скрубери і швидкісні газопромивачі (скрубери Вентурі) з відцентровими сепараторами. Застосування вихрових скруберів зі зрошувальними пристроями різних типів підвищує ефективність пиловловлювання завдяки осадженню частинок пилу на краплях та їх спільному руху, під дією відцентрової сили до стінки апарата. Тонкість розпилювання рідини на краплі розміром від 100 до 10 мкм визначається конструкцією форсунок і режимом витікання рідини. На великих краплях спостерігалось осадження твердих частин, а дрібні краплі розміром менше 1 мкм майже без контакту з твердими частинками переміщалися потоком закрученого газу з апарата.

Істотним кроком у поліпшенні сепарації рідинних плівок у закручених потоках стали нові конструкції плівкових сепараторів, розроблені для масообмінного обладнання. Застосування двоступінчастої сепарації дозволило забезпечити видалення пристінкової плівки рідини за область контакту і середньодобові витрати швидкості руху закрученого потоку газу до 15–20 м/с.

Однак застосування апаратів мокрого типу створює проблему наступного очищення води, яка сьогодні є не вирішеною. З огляду на це автори статті поставили собі мету створити принципово нову конструкцію апарата сухого типу, здатного розв'язувати поставлене питання.

Метою нашої роботи є створення апарата для очистки повітря від пилу в системах пневмотранспорту принципово нового типу, що забезпечить значне підвищення ефективності очищення від дрібнодисперсного пилу при зменшенні гідравлічного опору і габаритів пиловловлювача. Було поставлено завдання започаткувати такий пиловловлювач, в якого розміщення жалюзійного відокремлювача в горизонтальній площині, перпендикулярній до осі абсцис та ординат, дозволить залучити в процес пиловловлювання більшу кількість сил, а наявність відбивача, сконструйованого певним чином, дасть змогу направляти

в пиловихідний патрубок ще частину не виділеного з потоку іншим способом пилу; при цьому реконструкція патрубка виходу очищеного повітря дасть можливість зменшити турбулізацію потоку і гідравлічний опір апарата (рис. 1).

Запропонований горизонтальний пиловловлювач складається з патрубка 1 для вводу пилогазової суміші в апарат, корпусу апарата 2, жалюзійного відокремлювача 3, жалюзі 4, пиловипускного патрубка 5, відбивача 6, патрубків для виходу очищеного газу 7 і 8, кришки апарата 9.

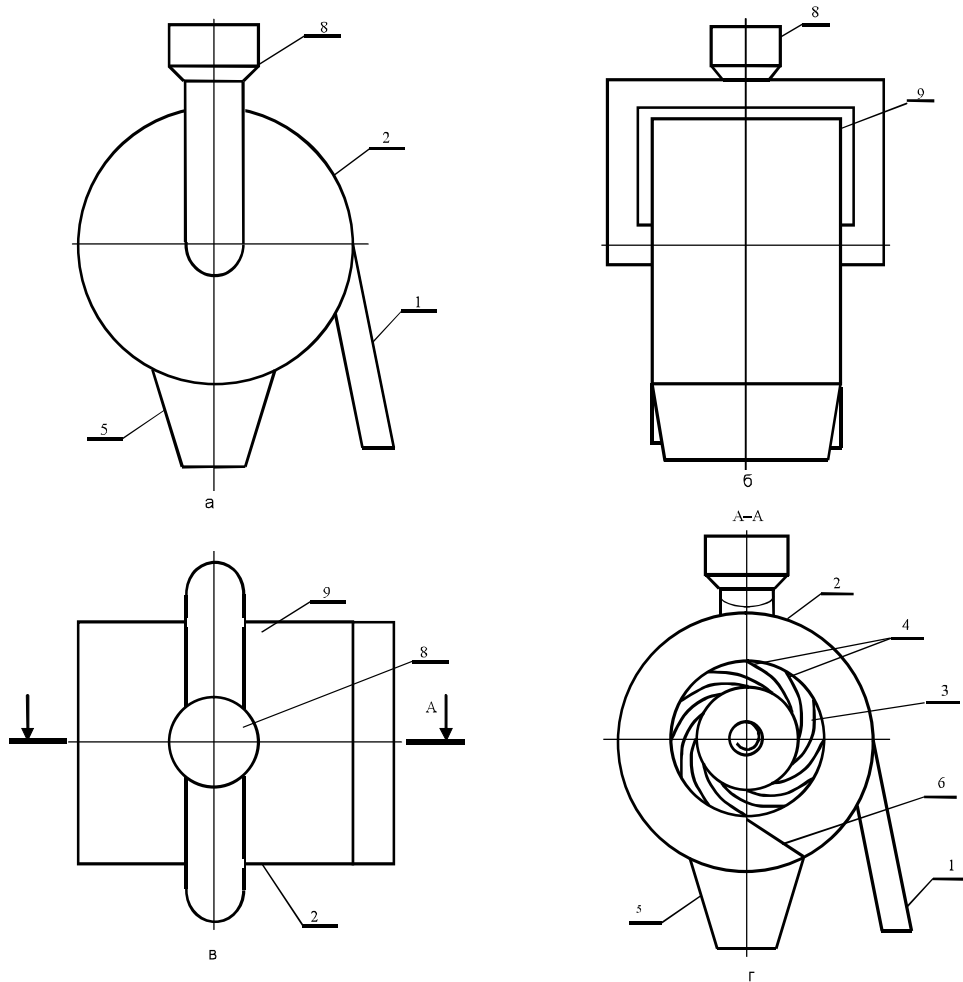


Рис. 1. Схема горизонтального пиловловлювача

Працює горизонтальний пиловловлювач наступним чином: пилогазова суміш через вхідний патрубок 1 тангенційно надходить у корпус апарата 2. Під дією відцентрових сил великодисперсні частинки пилу притискаються до стінки корпусу апарата 2, а дрібнодисперсний пилок захоплюється газовим потоком і рухається у бік жалюзійного відокремлювача 3. Тут частинки пилу

стикаються з жалюзі 4 відокремлювача 3 і відбиваються від них у бік потоку великодисперсних частинок, захоплюються ним і попадають у пиловипускний патрубок 5. Частинки, які під дією інерційних сил і сил маси пролітають мимо отвору пиловипускного патрубку, стикаються з відбивачем і, відбившись ним, потрапляють у пиловипускний патрубок 5. Вихідні патрубки для очищеного газу 7 приєднані з двох боків до жалюзійного відокремлювача 3 (розташовані вздовж його осі), за межами корпусу апарата підіймаються вертикально вгору паралельно до його стінок (рис. 1 б) і над кришкою 9 переходять в основний патрубок для виходу очищеного газу 8, розташованого співвісно корпусу 2 вздовж його вертикальної осі. Та частина газу, що очистилася від пилу як у корпусі апарата, так і при проходженні через жалюзі відокремлювача, виводиться з внутрішньої порожнини жалюзійного відокремлювача через діаметрально протилежні патрубки 7 і вихідний патрубок 8 назовні.

Для оптимізації процесу пиловловлювання жалюзійний відокремлювач розташовано на горизонтальній осі — осі аплікат, яка має прямі кути з віссю абсцис і ординат корпусу пиловловлювача, що дозволяє збільшити вплив сил маси в процесі очистки. Отже, пилогазовий потік, увійшовши в апарат тангенційно через патрубок 1, попадає під вплив відцентрових сил, які відкидають більші частинки пилу з нього до зовнішньої стінки корпусу 2, де формується потік великодисперсного пилу в напрямку від вхідного 1 до пиловипускного 4 патрубків відповідно. Відомо, що для видалення твердих частинок пилу з потоку достатньо половини оберту його вздовж жалюзійного відокремлювача, тому після здійснення потоком половини оберту на нього починають діяти додатково сили маси та інерції, які підштовхують цей потік спочатку вздовж зовнішньої стінки корпусу апарата, а потім у напрямку до пиловипускного патрубку.

Практично весь виділений великодисперсний пил попадає в пиловипускний патрубок, а дрібнодисперсний, який не може бути відокремлений за допомогою відцентрових сил, захоплюється потоком газу, що рухається до жалюзійного відокремлювача, і, роблячи поворот на кут α ($90^\circ < \alpha < 180^\circ$) у бік отвору між його жалюзі, проходить через ці отвори і виводиться з апарата через патрубки 7 і 8. Дрібнодисперсні частинки пилу не встигають за потоком, за рахунок сил інерції відстають від нього і не можуть потрапити в отвір між жалюзі, стикаються з ними, спочатку відбиваються у напрямку руху великодисперсного пилу, а потім — потоком назад, знову захоплюються газовим потоком, стикаються з жалюзі й відбиваються ними і т. д. до тих пір, доки не попадуть у потік, який рухається в напрямку до пиловипускного патрубку. Невелика частина цього дрібнодисперсного пилу пронесеться разом з газовим потоком повз патрубок виходу пилу 5 ближче до жалюзійного відокремлювача, але зустрине на своєму шляху відбивач, який розташований в апараті між верхнім правим краєм патрубку для виходу пилу 5 (рис. 1 г) і жалюзійним відокремлювачем під певним кутом до вертикальної осі корпусу апарата і направить цей пил прямо у пиловипускний патрубок.

Щоб в'яснити, яке місце займуть створені нами пиловловлювачі в загальному ряді наявних у даний час апаратів, потрібно порівняльними випробуваннями звести їх до невеликого конкретного ряду за ефективністю, гідравлічним опором і металомісткістю при однакових енергетичних витратах і продуктивності. Для цього існує «Єдина методика порівняльних випробувань пиловловлювачів», яка охоплює питання приготування експериментального пилу, визначення його фізико-хімічних і морфометричних властивостей, методів запиленості повітря, що подається у пиловловлювач, ступеня деагломерації пилу при штучній запиленості повітря, і визнана обов'язковою при дослідженнях новостворених апаратів аналогічного призначення. Досліди проводилися в Національному університеті «Львівська політехніка» на стандартному стенді, який відповідає всім вимогам цієї методики (рис. 2).

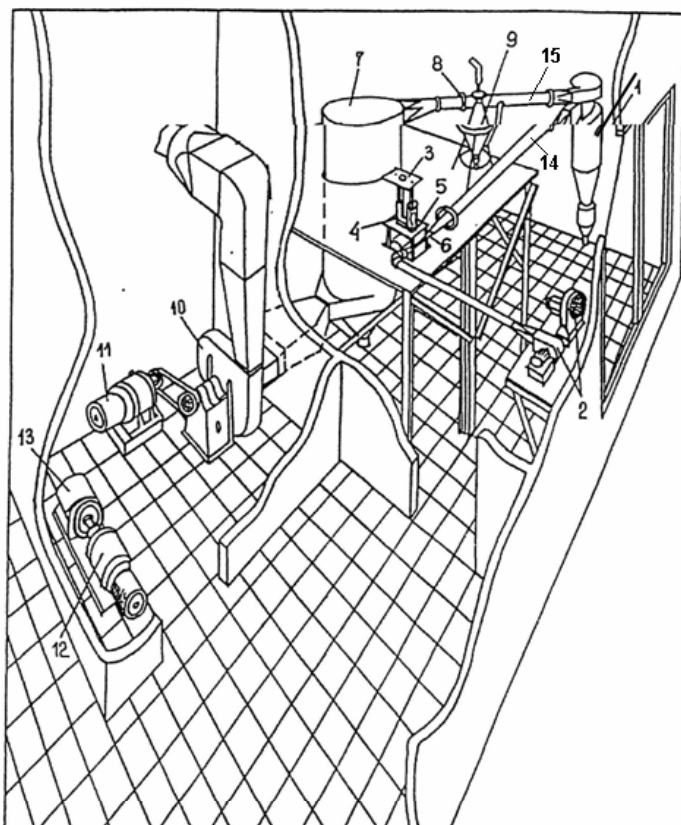


Рис. 2. Загальний вигляд експериментального стенда

Експериментальний стенд складається з піддослідного апарата 1, вентилятора 2 для дезагломерації пилу, пилоподавача 3 зі змішувачем 4, ежектора 5, колектора 6, вентилятора 10 для виведення очищеного в апараті повітря через рукавний фільтр 7 назовні. Перед рукавним фільтром

встановлена вимірвальна шайба 8 з приладом зовнішньої фільтрації 9. Вентилятор 10 має клиноремінний привод від електродвигуна постійного струму 11 потужністю 3,5 кВт. Для живлення двигуна встановлено генератор постійного струму 12 з двигуном змінного струму 13 потужністю 4,0 кВт. Така схема установки дозволяє плавно регулювати швидкість обертання колеса вентилятора від 0 до 30 об/год. Відцентровий вентилятор (при розрідженні на вході у всмоктувальний отвір до 600 мм вод. ст.) забезпечує витрати повітря до 3000 м³/год. З боку нагнітання вентилятора 10 встановлено глушники шуму. Для живлення повітряного ежектора слугують два послідовно включених відцентрових вентилятори 2 (ЦВ-2; ЦВ-3) зі швидкістю обертання 50 об/год і електродвигунами потужністю 1,8 кВт. Перед піддослідним апаратом і після нього розташовані, відповідно, малий 14 і великий 15 шибери.

Запиленість повітря, що надходить у досліджуваний апарат, здійснюється пилоподавачем 3 (рис. 3). Корпус 1 пилоподавача являє собою прозорий циліндр з плексигласу, що жорстко кріпиться до обойми 2, яка за допомогою гвинта 3 і стойки 4 може переміщатись у вертикальному напрямку. Вертикальний гвинт 3 з конічними шестернями 5 обертається електродвигуном 6. Швидкість обертання вала механізму — 0,05 об./с. Всмоктування пилу з корпусу 1 здійснюється за допомогою вертикальної трубки 7, розташованої в середині корпусу по його осі. Трубка під'єднана до горловини ежектора 8 і проходить через осьовий отвір у дні бункера із сальниковим ущільненням, закріплена нерухомо, і її всмоктувальний отвір 9 в середині корпусу лишається незмінним. При пересуванні бункера вертикально вгору пил підхоплюється повітрям у вхідний отвір трубки 7 і надходить в ежектор, де здійснюється його диспергування. Для рівномірного надходження пилу у всмоктувальний отвір трубки 7 в корпусі пилоподавача встановлена щітка 10 конічної форми з кутом конусу, що дорівнює куту природного відкосу пилу, яка обертається за допомогою шестерні 11. Поворот корпусу з верхнього положення в нижнє відбувається за рахунок обертання рукоятки 12 вручну при роз'єднаних конічних шестернях.

Важливим технічним елементом запропонованого пиловловлювача є кут нахилу відбивача 6 до вертикальної осі корпусу апарата, оскільки встановлено, що він має великий вплив на ефективність пиловловлення. Для цього було виготовлено десять варіантів апаратів з такими кутами нахилу відбивачів до вертикальної осі корпусу апарата: перший — кут 15°; другий — 20°; третій — 30°; четвертий — 35°; п'ятий — 45°; шостий — 50°; сьомий — 60°; восьмий — 70°; дев'ятий — 80°; десятий — 90°.

Експериментами встановлено, що оптимальним є сьомий тип апарата, де кут нахилу відбивача до вертикальної осі апарата становить 60° (рис. 1 г), що пояснюється наступним чином:

при зменшенні цього кута нижче 60° збільшується щілина між відбивачем 6 і жалюзійним відокремлювачем 3, що дозволяє частинкам пилу рухатися вздовж корпусу апарата ще певну кількість разів;

при збільшенні кута нахилу відбивача 6 до вертикальної осі апарата зменшується кут відбиття ним частинок пилу, і чим більший кут нахилу відбивача, тим паралельніше до патрубку виходу пилу 5 направляється відбитий потік і значніша його частина захоплюється потоком і знову попадає на відбивач або потрапляє в уже очищений газ;

при куті нахилу відбивача 6 до вертикальної осі апарата 60° кут відбиття потоку дозволяє йому одразу потрапити у пилівипускний патрубок 5, а не рухатися декілька разів уздовж корпусу апарата.

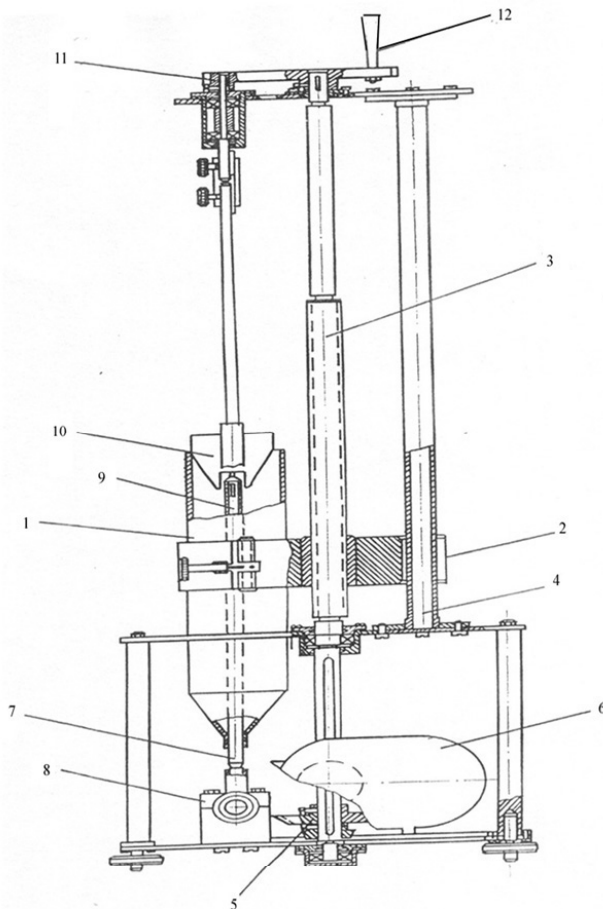


Рис. 3. Загальний вигляд пиліподавача

Доцільність наявності двох діаметрально протилежних патрубків 7 виходу очищеного газу вздовж осі жалюзійного відокремлювача 3 досліджувалася на трьох конструкціях апарата:

перша — апарат має один патрубок виходу очищеного газу 7, розташований по осі жалюзі відокремлювача і направлений на нас (рис. 1б), а патрубок, який іде від нас, закритий;

друга — апарат має два діаметрально протилежні патрубки виходу очищеного газу 7 (описаний варіант);

третя — апарат має один патрубок виходу очищеного газу 8, який розташований у кришці 9 корпусу апарата по його вертикальній осі і введений в середину жалюзійного відокремлювача, та не має патрубків виходу очищеного газу 7.

Проведені дослідження довели, що найкращою конструкцією, яка забезпечує максимальну ефективність роботи і мінімальний гідравлічний опір, є друга, тому що вона зводить до мінімуму турбулізацію потоку, не створює потоків у середині жалюзійного відокремлювача, направлених у бік вихідного патрубка, дозволяє досягти оптимальної швидкості виходу очищеного повітря з апарата. Найбільш невдалою є третя конструкція, оскільки в ній вихідний патрубок очищеного газу турбулізує потік, як у середині жалюзійного відокремлювача, так і в корпусі апарата, створює додатковий опір і тому важко підтримати оптимальну швидкість в ньому.

На експериментальному стенді нами проведено порівняльні дослідження запропонованого горизонтального пиловловлювача з циклоном ЦН-11, який вважається сьогодні найкращим апаратом сухого вловлення пилу (див. таблицю). За пил слугував кварцовий пісок.

Порівняльні дослідження пиловловлювачів

Витрати повітря, м ³ /г	Діаметр пилу, $\delta_{50} \cdot 10^{-6} \text{ м}$	Ефективність роботи, %		Гідравлічний опір, Па	
		циклон ЦН-11	запропонований апарат	циклон ЦН-11	запропонований апарат
1000	8	76,5	87,2	88	67
	32	83,2	93,9		
	50	85,2	95,8		
2000	8	77,4	89,1	92	71
	32	80,5	93,2		
	50	85,7	97,1		
3000	8	78,7	89,4	94	75
	32	82,1	94,4		
	50	86,8	98,7		

Як видно з таблиці, переваги запропонованої конструкції очевидні.

Таким чином, ми пропонуємо пиловловлювач, в якому: жалюзійний відокремлювач розташований в корпусі апарата вздовж осі аплікат, тобто горизонтального типу; відбивач пилу, що знаходиться в корпусі апарата між верхнім правим краєм пиловипускного патрубка і жалюзійним відокремлювачем під кутом 60° до вертикальної осі корпусу апарата, дозволяє оптимізувати потоки в середині його, заганняючи пил у пиловипускний патрубок; наявність двох діаметрально протилежних патрубків для виходу очищеного газу, розміщених по осі жалюзійного відокремлювача, зводить до мінімуму турбулізацію потоку як у середині корпусу апарата, так і в жалюзійному відокремлювачі й дозволяє досягти оптимальної швидкості виходу очищеного повітря з апарата.

Завдяки цим удосконаленням досягається значне збільшення (на 10–12%) ефективності вловлення дрібнодисперсного пилу порівняно з еталоном — циклоном ЦН-11 при зменшенні гідравлічного опору (енергоємності) і витрат матеріалу (металомісткості).

У даний час проводиться проектування дослідно-промислового зразка запропонованого апарата для впровадження його в системах пневмприводу.

1. Батлук В. А. Математические модели процессов разделения гетерогенных систем при пылеочистке / Батлук В. А. — Полтава, 2000. 2. Визначення оптимальних конструктивних розмірів відцентрово-інерційних пиловловлювачів [Батлук В. А., Батлук В. В., Шелюх Ю. Є., Макарчук В. Г., Романцов Є. В.] — Кременчук, 2008.

ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫЕ ИССЛЕДОВАНИЯ ПРОЦЕССА ОЧИСТКИ ВОЗДУХА

Рассматриваются конструктивное оформление аппаратов центробежно-инерционного типа, совмещающих высокие скорости контактирования и центробежную сепарацию фаз, отрасль их применения и исследования по определению эффективности при проведении комплексных процессов пылеулавливания.

EXPERIMENTAL RESEARCHES OF PROCESS OF CLEANING OF AIR

Are examined structural registration of vehicles of centrifugal-inertia type, that connect high speeds of contact and centrifugal separatsiyo of phases galouz their application and research from determination of efficiency during conducting of complex processes of pilovlovlyovannya.

Стаття надійшла 12.11.08

УДК 621.928.9

В. А. Батлук, В. Г. Макарчук, Р. Є. Стець, Є. В. Романцов
Національний університет «Львівська політехніка»

ВИСОКОЕФЕКТИВНЕ ВЛОВЛЮВАННЯ ПОЛІДИСПЕРСНОГО ПИЛУ

Описується конструкція відцентрово-інерційного пиловловлювача, невід'ємною частиною якого є бункер. Експериментально визначена залежність ефективності його роботи від конструктивних розмірів бункера: висоти, ширини, розмірів вхідного патрубку та співвідношення з розмірами вихідного патрубку пиловловлювача. Визначено оптимальні розміри бункера, що дозволяють досягти максимально можливої ефективності уловлювання пилу.

Полідисперсний пил, вловлювання, конструкція, бункер

Необхідність охорони навколишнього середовища приводить до істотних змін у загальних підходах до забезпечення екологічної ефективності виробництва, під якою розуміють мінімізацію впливу на нього при заданих продуктив-