

УДК 621.928.9

МАТЕМАТИЧНЕ МОДЕЛЮВАННЯ АПАРАТІВ ДЛЯ ОЧИСТКИ ПОВІТРЯ ВІД ПИЛУ ПРИ РОБОТІ ПНЕВМАТИЧНИХ МАШИН

Батлук В.А., докт. тех. наук., проф., Василів Р.М., співшукач,
Батлук В.В., співшукач,
Львівський державний університет безпеки життєдіяльності

Щорічно, внаслідок господарської діяльності людства, утворюються десятки мільйонів тон промислових відходів у вигляді токсичних газів, які викидаються в атмосферу, і твердих техногенних продуктів, що забруднюють повітряне і водне середовище. Це призводить до глибоких негативних тенденцій в екологічній ситуації і складає фундаментальну проблему сучасності, на рішення якої направлені, зусилля всіх розвинених країн світу.

Існуючі засоби для вловлення пилу від технологічного обладнання при пневмотранспорті недостатньо ефективні і економічні. Для вирішення цієї задачі необхідні комплексні наукові дослідження по визначенню фізико-механічних, електричних і хімічних властивостей пилу, його концентрації і розподілу у виробничій техносфері пневмотранспорту з урахуванням метеорологічних умов навколишнього середовища. Створення принципово нових апаратів сухого очищення повітря від пилу, які забезпечили б можливість вискоефективного уловлювання полідисперсного пилу при зменшенні гідравлічного опору і розмірів установок являється предметом наших досліджень.

Рух зважених частинок в турбулентному потоці газу відрізняється складністю і інтенсивністю в усіх напрямках. Це зумовлене тим, що частинки, якщо вони не дуже великі, реагують на безладні турбулентні пульсації середовища і разом з поступальним рухом з потоком здійснюють під їх впливом пульсаційний (коливальний) рух відносно молей газу, який їх переносить і також безладне переміщення разом з молями газу, що називається турбулентною дифузією частинок.

Як і рух молей газу, пульсаційний і дифузійний рухи частинок мають стохастичний (випадковий) характер і тому описуються статистично. При нерівномірному русі стоксової частинки в середовищі, що знаходиться в стані спокою, крім сили опору, що описує явища, які відбуваються в даний момент часу поблизу поверхні частинки,

потрібно враховувати додатковий опір, пов'язаний з витратою енергії на приведення в рух самого середовища.

Процес руху дрібних зважених частинок під дією відцентрової сили в турбулентному потоці складається з двох процесів: а) безперервного руху частинок до стінки циклону всередині несучих їх пульсаційних молей і б) безладного у напрямі, частоті і амплітуді руху частинок разом з несучими їх пульсаційними полями. Перший процес – безперервний рух частинок до стінки циклону, описується в стоксівському наближенні рівнянням, виведеним для випадку вільного руху частинок в стаціонарному ламінарному потоці. Другий процес – безладне снування частинок разом з несучими їх пульсаційними молями представляє вияв турбулентної дифузії частинок, інтенсивність якої залежить, як і швидкість їх руху під дією відцентрових сили, від маси частинок.

Якщо частинки грубодисперсні, то процес їх руху під дією відцентрових сили складається інакше. Володіючи високою відцентровою швидкістю, грубодисперсні частинки в ході процесу руху не залишаються всередині вихідного моля газу, а покидають його і перетинають безліч інших молей, що випадково зустрілися.

Руйнування крупномасштабних турбулентних вихорів дозволяє апроксимувати рух пилогазового потоку макрохарактеристиками і дозволяє зробити висновок про можливість інтенсифікувати процес пилоочищення за рахунок встановлення всередині циклону жалюзійного відокремлювача, який дозволяє: первинне пилоосадження на верхні жалюзі; руйнування крупномасштабних турбулентних вихорів при їх проходженні через жалюзі відокремлювача і зменшення енергії транспортування ними пилу; зменшення зворотного дифузійного потоку від стінки циклону.

Розрахувавши лінійні масштаби турбулентності, ми змогли сконструювати цілу групу апаратів “ноу-хау” яких - присутність в корпусі апарату другого ступеня очищення - жалюзійного відокремлювача, в якому проходячи через отвори між жалюзі, пилоповітряний потік додатково очищається.

Для вивчення аеродинамічних процесів, що відбуваються у пиловловлювачі з жалюзі складної конструкції та трубою Вентурі, подальші дослідження проводилися у двох напрямках: перший полягав у дослідженні аеродинаміки створеного апарата за допомогою комп'ютерного моделювання, другий – у вивченні характеристик пиловловлювача на експериментальному стенді. При виготовленні

моделі пиловловлювача для проведення досліджень були взяті конструкції, розроблені автором і захищені патентами України на винахід.

Для вивчення впливу окремих елементів на характеристики сепаратора в цілому було побудовано три твердотільні моделі апаратів. Перша – циклон з жалюзійним відокремлювачем (рис. 1.а), «модель А». Друга модель (рис. 1.б) створена на основі першої, монтуванням труби Вентурі перед входним патрубком («модель Б»). У третій моделі (рис. 1.в) трубу Вентурі з'єднано патрубком з жалюзійним відокремлювачем («модель В»). У процесі дослідження моделювалася робота сепараторів при різноманітних швидкостях потоку повітря у входному патрубку, жалюзі різної конструкції. Моделювання мало на меті дослідити розподіли статичного тиску та складових швидкості потоку повітря в сепараторі, гідравлічного опору апарата та його ефективності.

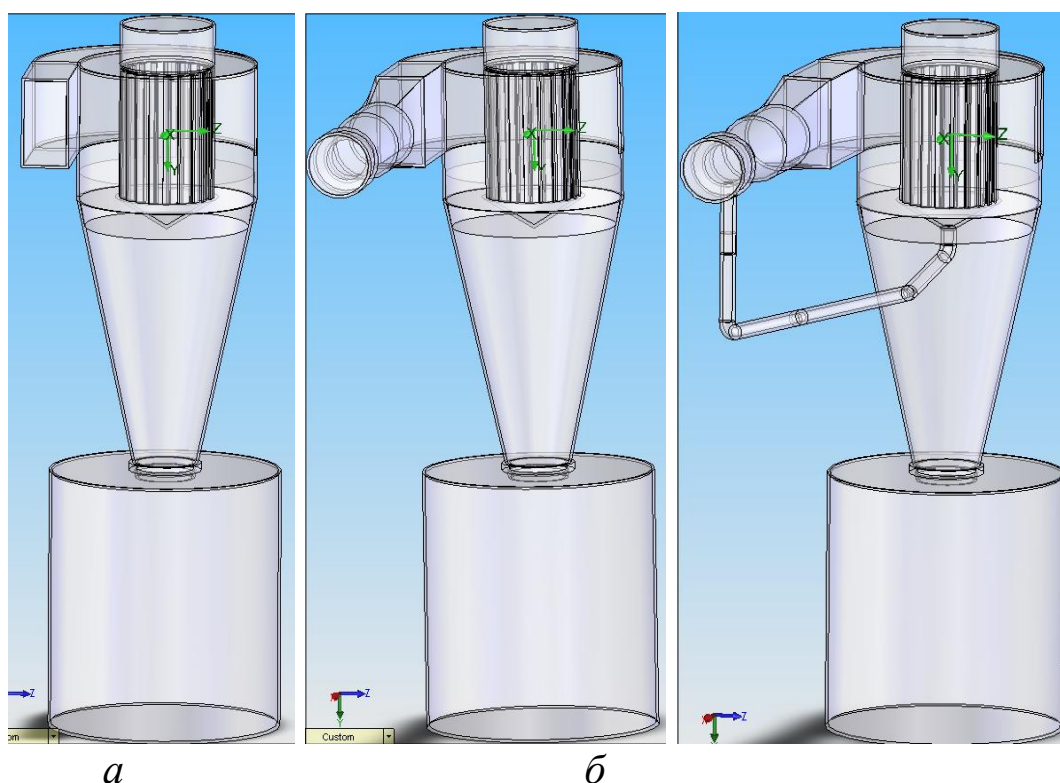


Рис. 1. - Тривимірні моделі пиловловлювачів
а – модель А; б – модель Б; в – модель В

Аналіз аеродинамічних процесів в апараті проводили, виходячи з рівнянь Нав'є-Стокса, що описують у нестационарній постановці закони збереження маси, імпульсу й енергії середовища. Крім того, використовували рівняння стану компонентів потоку, а також емпіричні залежності в'язкості й теплопровідності цих компонентів середовища

від температури. Цими рівняннями моделювали турбулентні, ламінарні і перехідні (між ламінарними і турбулентними, перехід визначається критичним значенням числа Рейнольдса) потоки. Для моделювання турбулентних потоків (вони найчастіше зустрічаються в сепараційній зоні циклона) згадані рівняння Нав'є-Стокса усереднювалися за критерієм Рейнольдса, тобто використовували усереднений в малому масштабі часу вплив турбулентності на параметри потоку, а великомасштабні тимчасові зміни усереднених за малим масштабом і часом складових газодинамічних параметрів потоку (тиску, швидкостей, температури) враховувалися введенням відповідних похідних за часом. У результаті рівняння мали додаткові члени — напруження за критерієм Рейнольдса.

Аналіз аеродинамічних процесів в апараті проводили, виходячи з рівнянь Нав'є-Стокса, що описують у нестационарній постановці закони збереження маси, імпульсу й енергії середовища. Крім того, використовували рівняння стану компонентів потоку, а також емпіричні залежності в'язкості й теплопровідності цих компонентів середовища від температури. Цими рівняннями моделювали турбулентні, ламінарні і перехідні (між ламінарними і турбулентними, перехід визначається критичним значенням числа Рейнольдса) потоки. Для моделювання турбулентних потоків (вони найчастіше зустрічаються в сепараційній зоні циклона) згадані рівняння Нав'є-Стокса усереднювалися за критерієм Рейнольдса, тобто використовували усереднений в малому масштабі часу вплив турбулентності на параметри потоку, а великомасштабні тимчасові зміни усереднених за малим масштабом і часом складових газодинамічних параметрів потоку (тиску, швидкостей, температури) враховувалися введенням відповідних похідних за часом. У результаті рівняння мали додаткові члени — напруження за критерієм Рейнольдса.

Для проведення числового аналізу та візуалізації результатів обчислень застосовували студентську версію пакету Cosmos Floworks. Тривимірна модель створювалася у студентській версії пакету Solidworks.

Метою проведення розрахунків є визначення повного, статичного та динамічного тисків на вході та виході пиловловлювача, вивчення розподілу швидкостей потоку повітря у пиловловлювачі та дослідження його гідравлічного опору.

Найвищою є швидкість потоку повітря в циліндричній частині циклона. Зі зниженням потоку вздовж осі апарата швидкість його ру-

ху зменшується внаслідок виходу частини повітря через жалюзійний відокремлювач в атмосферу. Найнижчі швидкості потоку зафіксовані на осі циклона та у бункері. Розміщення жалюзійного відокремлювача на осі циклона сприяє розподілу радіального стоку по всій його площі, про що свідчить рівномірний розподіл швидкостей потоку в жалюзійному відокремлювачі.

Поблизу вихлопної труби швидкість потоку повітря є значно нижчою, ніж у сепараційній зоні, що призводить до того, що на частинки пилу, які потрапляють в циклон поблизу вихлопної труби, буде діяти менша відцентрова сила, ніж на ті частинки, місце входу яких на більшій віддалі від неї.

Використання жалюзі складної конструкції дає змогу розширити область з високими швидкостями руху повітряних потоків у сепараційній зоні циклона.

Слід відмітити, що поблизу вгнутої сторони жалюзі спостерігаються низькі зони швидкостей $\approx 3-5$ м/с, що може призвести до забивання цих зон пилом. Тому при проектуванні жалюзійного відокремлювача не слід вибирати надто малі радіуси. В моделі з жалюзійним відокремлювачем складної конструкції у сепараційній зоні циклона спостерігаються більш високі значення швидкості потоку повітря.

Захоплювальна дія криволінійного потоку повітря на частинку пилу в циклоні здійснюється силою в'язкого опору середовища відносному рухові і силою гідродинамічного тиску. В циклоні, як і в будь-якому криволінійному потоці, статичний тиск повітря значно зменшується в напрямку від периферії до центра обертання потоку, тому ефективність очищення газів зменшується через підвищене розрідження і перепад тисків вздовж осі циклона. Зі збільшенням градієнту тиску знижується ефективність циклона, підсилюються вторинні потоки і збільшується його гідравлічний опір.

На основі досліджень розподілу швидкостей потоку та статичного тиску приходимо до висновку про те, що у моделі В створюються більш сприятливі умови для процесу сепарації частинок пилу з повітряного потоку, що повинно забезпечити його вищу ефективність у порівнянні з традиційною конструкцією пиловловлювача.

Траєкторії руху повітряних потоків у циклоні з жалюзійним відокремлювачем показали, що радіальний стік у корпусі нижчий і біля жалюзійного відокремлювача практично відсутній. Позитивним фактором також є те, що швидкість повітряного потоку у вихлопній трубі є значно нижчою, ніж швидкість потоку у сепараційній зоні. Одержан-

ні результати дають змогу чіткіше описати рух повітряних потоків у представленій конструкції апарату. Зниження швидкості внутрішнього вихору є фактором, що позитивно впливає на ефективність роботи апарата.

При дослідженні залежності гідравлічного опору пиловловлювача від швидкості потоку повітря у вхідному патрубку встановлено, що при збільшенні швидкості потоку повітря у вхідному патрубку зростає гідравлічний опір циклона, і при цьому залежність має квадратичний характер.

Після зростання швидкості потоку понад 20 м/с відбувається різке збільшення гідравлічного опору циклона, тому використання пиловловлювачів за таких режимів є роботи є недоцільним, що може бути пояснено випрямленням повітряного потоку у вихлопній трубі, внаслідок чого – зменшенням турбулентних пульсацій.

У кожному конкретному разі впровадження апарату для очищення повітря від пилу запропонований апарат спочатку досліджувався на експериментальному стенді і порівнювався з еталоном, аналізувалися результати і вирішувалися питання впровадження вибраної схеми очищення.

На сьогоднішній день по розробленій і представленій в статті моделі вже розроблені креслення і проводиться виготовлення дослідно-промислової установки для очистки повітря від пилу при роботі пневматичних машин в гірській промисловості.

Список літератури.

1. Батлук В.А., Ляшеник А.В., Шибанов С.В., Мельников О.В., Проскуріна І.В. Нові методи очистки повітря в коксохімічному виробництві//Вестник нац.тех.університету України «Киевский политехнический институт».Машиностроение. – К.:НТУУ «КПІ». – №52.,2008.,с.
2. Батлук В.А., В.С.Джигерей, Ю.Р.Дадак. Дослідження розподілу статичного тиску в сепаратійній зоні пиловловлювача з жалюзійним відокремлювачем//Всеукраїнський науково-технічний журнал «Промислова гідравліка і пневматика» № 4(18), Вінниця, 2007.- с.27-30.