

УДК 553.6.002.5

Фільтраційне обладнання систем аспірації, пневмотранспорту та вентиляції в промисловості: особливості експлуатації, проблеми аеродинаміки та шляхи їх вирішення

Коколенко А. О.

Національний технічний університет України «Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського, Київ, Україна

Фільтраційне обладнання використовують в промисловості згідно з такими напрямками: в системах аспірації; в кінцевій фазі транспортування систем пневмотранспорту для відокремлення твердої компоненти від транспортуючого середовища; в системах припливної та витяжної вентиляції. Розглядається ретроспектива розвитку різноманітних конструкцій фільтраційного обладнання та особливості його експлуатації відповідно до наведених напрямків використання. Приділено увагу питанням аеродинаміки робочих процесів в системах, аналізуються підходи до покращення умов протікання робочих процесів з метою підвищення ефективності та надійності експлуатації систем. Пропонуються шляхи розв'язання невирішеної до кінця загальної проблеми, типової для апаратів припливної та витяжної вентиляції – проблеми забезпечення рівномірного розподілу середовища в розгалужених системах розподілу та збору потоків. Це стосується як конструктивних заходів, так і використання засобів автоматичного керування процесами.

Ключові слова: аеродинаміка промислових апаратів; фільтрація; вентиляція; аспірація; пневмотранспорт; автоматичне керування

Робота машинобудівних та енергетичних підприємств та промислових будівель завжди супроводжується викидами речовин, небезпечних для робітників та навколишнього середовища. Вплив небезпечних викидів залежить від частоти, тривалості та рівня забруднення повітря. Неприятливий вплив на здоров'я людей, флору й фауну може виникнути одразу після викиду продукту (наприклад, вплив чадного газу) або після тривалого періоду дії забруднень (наприклад, вплив азбесту). Один з найпоширеніших способів локалізації та видалення з потоком повітря шкідливих дрібних сухих речовин (пилу, стружки, тирси та ін.) з робочих зон різного роду верстатів, агрегатів та обладнання підприємств по переробці сировини є використання аспіраційних інженерних пневмосистем. Принцип їх дії полягає у відведенні забрудненого повітря, подальшій його фільтрації, тобто відділенні твердої компоненти від повітря в тканинних фільтроелементах, та у викиді чистого повітря в робочу зону підприємств або поза межами їх [1]. Кількість забрудненого повітря, що відсмоктується, визначається, насамперед, виконанням головної функції аспіраційних і фільтраційних систем — захисту навколишнього середовища і здоров'я людей, а не виходячи з умов з надійності та економічності транспортування відходів трубопроводами, хоча останні питання є також важливими.

Апарати аспірації можуть використовувати не тільки для очищення робочих приміщень та цехів, але й для відокремлення твердої компоненти від газоподібної в системах пневмотранспорту сипучих середовищ. В таких системах реалізується примусове переміщення широкого спектру порошкоподібних та гранульованих твердих речовин у потоці газу. Транспортування відбувається через трубопроводи, під дією тиску повітря чи іншого газу. Галузі, в яких сипучі матеріали транспортуються пневмотранспортом, включають сільське господарство, хімічну, фармацевтичну, лакофарбову, гірничодобувну, мінеральну промисловість, харчову, сталеливарну, пластикову, машинобудівну та електроенергетичну галузі. Пневмотранспортні операції можуть включати внутрішньо заводське переміщення

матеріалів між стадіями технологічного процесу, наприклад, переміщення сировини з виробничої зони до бункерів зберігання [2]. В кінці процесу проходить відокремлення продукту від газу-носія, у випадку використання аспіраційних агрегатів тверді матеріали відфільтровуються, а очищене повітря повертається в систему.

Вентиляційні системи відповідають за процес циркуляції повітря в приміщенні, забезпечуючи свіжий приплив повітря та видалення витратного. Це важливо для підтримання оптимального рівня кисню, вологості та комфорту для життя й роботи. Вентиляція може бути здійснена за допомогою природних або механічних систем. Фільтраційні системи вентиляції являють собою картриджні або кармані тканні елементи, що слугують захистом робочого приміщення та повітропроводних каналів від пилу, диму, неприємних запахів та інших негативних факторів. Відмінність аспірації від фільтраційних систем вентиляції полягає в тому, що аспіраційні системи працюють переважно на видалення пилових частинок, використовуючи повітря як носій сухих забруднень, а робота фільтрів вентиляційних систем зосереджена на уловлюванні частинок пилу при притоці повітря до промислових приміщень з врахуванням керування потоками повітря з метою здійснення необхідних повітрообмінів для підтримки рівня кисню та видалення використаного повітря. Разом з тим, використання систем аспірації значно спрощує та полегшує експлуатацію загальнообмінної вентиляційної системи та фільтрів у ній. Якщо вентиляція та аспірація налаштовані технологічно правильно, то вентиляційній системі залишається забезпечувати лише достатній повітрообмін і приміщенні повітряних мас (без використання спеціальних фільтрів у вентиляційних каналах).

Активне використання вентиляційних та аспіраційних систем почалося наприкінці 1800-х років та набрало широку популярність у США під час промислової революції. Винайдення першого аспіраційного фільтру є предметом суперечок, дехто приписує винахід Вільгельму Бету, який створив конструкцію на основі звичайного тканевого фільтра, а дехто - Джону Фінчу, який винайшов циклонний пиловловлювач приблизно в 1885 році. У середині 1920-х років значний прогрес аспіраційних агрегатах стався завдяки винаходу Вільгельмом Бетом у Німеччині струшувального пиловловлювача. Фільтрувальні елементи в цій системі самоочищаються за допомогою вібраційного двигуна, прикріпленого до рами, який струшує фільтрувальні мішки, щоб витіснити накопичений пил. В середині 1950-х років було розроблено реверсивні фільтри (очищення способом зворотної продувки), а невдовзі було розроблено спосіб імпульсної очистки фільтроелементів (використанням напрямленого струменя стисненого повітря для збиття пилу з тканини). Імпульсний спосіб регенерації активно використовується і в наш час та є найпоширенішим способом очистки елементів від пилу (рис.1.). Використання імпульсної регенерації супроводжувалось впровадженням каркасу у фільтроелементах.

На початку 1970-х було винайдено картриджні фільтра. Такі агрегати дозволяли виконувати більш тонку фільтрацію повітря (до 0,3 мкм) та чудово справлялись з видаленням диму. В наш час аспіраційне устаткування та пневмосистеми продовжують розвиватися, засоби автоматизації дозволяють в реальному часі проводити віддалений моніторинг та контроль основних характеристик роботи апаратів.

Разом з аспіраційним устаткуванням паралельно йшов активний розвиток вентиляційної ланки. На початку 20-го століття, коли електроенергія стала загальнодоступною, промислові підприємства досягли бажаного рівня вентиляції. У 1931 році шведський інженер-будівельник Свен Ромедал опублікував статтю, в якій зазначав проблематику вентиляції приміщень, прив'язуючи її до їх висоти, а також запропонував схему механічної витяжної системи.

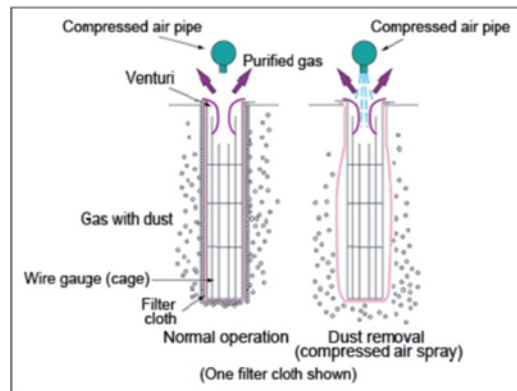


Рис.1. Імпульсний спосіб регенерації

В 1970-х роках починають поширюватись системи припливно-витяжної вентиляції, які дозволяли забезпечувати необхідну якість повітряного середовища у робочому приміщенні. В наш час припливно-витяжні вентиляційні установки використовуються майже на кожному підприємстві, в них додані функції рекуперації, що є незамінним енергозберігаючим елементом системи.

Функціонал сучасних систем дає можливість регулювати більшість характеристик вентиляції, але гостро стоїть питання рівномірного розподілення потоків в розгалужених системах розподілу та збору повітря. Крім того, в більшості технологічних фільтраційних установок систем вентиляції та аспірації технологічний процес здійснюється обдуванням або продуванням потоку газу через постійні робочі фільтрувальні елементи. До таких елементів належать: пучки труб, стрижнів або пластин, а також шарові або інші насадки, призначені для нагрівання або охолодження одного робочого середовища іншим; тканинні, волокнисті, сітчасті, зернисті та інші фільтрувальні перегородки тощо. Цілком очевидно, що у всіх випадках нерівномірний розподіл потоку по робочому перерізу або робочій (пористій) поверхні, а також по окремих фільтрах розгалужених колекторних систем може призводити до суттєвого погіршення технологічних показників установок порівняно з тими, які працюють за умов рівномірного протікання робочого середовища через усі фільтрувальні елементи. Якщо при нерівномірному розподілі потоків технологічні та енергетичні показники установок вдається підтримувати досить високими, то це означає, що розміри апарата і кількість робочих елементів обрано із завеликим запасом. У випадку забезпечення рівномірності потоку навіть при зменшених розмірах установок можна було б підвищити їх продуктивність, масогабаритні та екологічні показники.

Забезпечення оптимального розподілу потоків у вентиляційних установках передбачає правильні розрахунки геометричних співвідношень припливних і витяжних колекторних елементів, а також їх режимних параметрів роботи (витрати, швидкостей в окремих елементах, тиску у повітропроводах). При розгляді аспіраційних систем додатково до вищевказаних параметрів має бути врахований розподіл твердої компоненти по транспортуваному середовищу. Авжеж, варто зазначити, що при незначній концентрації пилу в струмінні рухомого газу (параметр концентрації $\leq 1,1$ кг/кг) та розмірах твердих частинок 50 мкм, характер поля швидкостей буде однаковим як для запиленого, так і для незапиленого потоків [3].

Існує також складна аеродинамічна проблема осідання твердої фази в двокомпонентних потоках пневмотранспортних систем при певних режимних параметрах. Ця проблема потребує постановки багатьох експериментальних досліджень з використанням твердих частинок різної густини, особливостей злипання при різних температурах тощо в транспортуючих потоках.

Сучасний аеродинамічний розрахунок розгалужених вентиляційних та аспіраційних систем розподілу та збору повітря в переважній більшості випадків має дуже спрощений характер, тому що розміри колекторів та повітропроводів приймаються, головним чином, за рекомендованими швидкостями руху (які є сталими величинами, що виведені на основі економічних міркувань, а саме, оптимальні швидкості потоків мають відповідати мінімальним витратам на обладнання). На основі отриманих такими розрахунками перерізів каналів проводять подальший розрахунок фактичних величин швидкостей, втрат тиску тощо [4]. Залишаються не до кінця вивченими питання попередньої оцінки фізичних явищ, пов'язаних з особливостями динаміки потоків змінної маси, що призводять до так званого «колекторного ефекту», особливо при дискретній зміні маси вздовж припливних та витяжних колекторних трубопроводів. Додатково, в системах активно не використовуються сучасні пристрої дистанційного керування, регулювання та контролю руху середовища, які можуть покращувати характеристики роботи пневматичних агрегатів (перевагу, як правило, надають застарілим елементам ручного керування).

Для того, щоб уникнути негативних наслідків недостатньо аргументованих методів розрахунку транспортування повітряного середовища, необхідно побудувати більш адекватну аналітичну модель аеродинамічних процесів дискретного розподілу потоків в вентиляційних системах, а також розробити засоби автоматизації процесів керування розподілом потоків робочого середовища.

Список літератури

1. Глебов І.Т., Рисев В.Е. Аспіраційні та транспортні пневмосистеми деревообробювальних підприємств: підручник, Єкатеренбург: Урал. гос. лесо-техн. ун-т, 2004. – 180 с.
2. A review of CFD modelling studies on pneumatic conveying and challenges in modelling offshore drill cuttings transport URL: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0032591016307082>.
3. Ідельчик І.Е. Аеродинаміка технологічних апаратів (підвід, відвід та розподіл по січню апаратів): монографія, М.-Машинобудування, 1983. – 351 с.
4. Богословський В.Н., Новожилов В.І., Симаков Б.Д., Тітов В.П. Опалення та вентиляція: навч. посібник в 2-х ч. Ч.2., М. – 1976., 439 с.

Filtration equipment for aspiration, pneumatic transport and ventilation systems in industry: features of operation, aerodynamic problems and ways to solve them

Kokolenko Artur

Filtration equipment is used in the industry according to the following directions: in aspiration systems, in the final phase of transportation of pneumatic transport systems to separate solid components from the transporting medium; in supply and exhaust ventilation systems. A review of the development of various designs of filtration equipment and the peculiarities of its operation in accordance with the indicated directions of use is considered. Attention is paid to the issues of aerodynamics of work processes in systems, approaches to improving the conditions of the flow of work processes are analyzed in order to increase the efficiency and reliability of system operation. Ways to solve a general problem that has not yet been resolved, typical for supply and exhaust ventilation devices - the problem of ensuring uniform distribution of the medium in branched distribution and flow collection systems are proposed. This applies to both constructive measures and the use of automatic process control tools.

Keywords: aerodynamics of industrial machines; filtration; ventilation; aspiration; pneumatic transport; automatic control.