УДК 621.928.9

БАТАРЕЙНІ ЦИКЛОНИ. ПІДВИЩЕННЯ ЕФЕКТИВНОСТІ ПИЛОВЛОВЛЮВАННЯ

В.П. Куц, к.т.н., Я.Д. Ярош
Тернопільський державний технічний університет

Наведено результати експериментальних досліджень нового пиловловлювального апарата — батарейного циклона з жалюзійними елементами. Таке рішення дає змогу не тільки підвищити ефективність пиловловлювання за рахунок створення умов для додаткового розділення пилогазового потоку під час проходження крізь жалюзійну решітку, але і зменшити гідравлічний опір апарата порівняно з батарейними циклонами із звичайними елементами.

Приведены результаты экспериментальных испытаний нового пылеулавливающего аппарата — батарейного циклона с жалюзийными элементами. Такое решение позволяет не только повысить эффективность пылеулавливания за счет создания условий для дополнительного разделения пылегазового потока при прохождении через жалюзийную решетку, но и уменьшить гидравлическое сопротивление аппарата по сравнению с батарейными циклонами с обычными элементами.

Проблема зменшення забруднення атмосферного повітря технологічними і вентиляційними викидами може бути вирішена розробкою і впровадженням нових прогресивних технологій, створенням нових ефективних методів і апаратів очищення, вдосконаленням діючого пиловловлювального обладнання.

Одним із можливих шляхів вдосконалення пиловловлювального обладнання є створення апаратів, в яких поєднані принципи дії декількох різних апаратів. Таке рішення дає змогу не тільки підвищити ефективність пиловловлювання, але і скоротити виробничі площі, які займає це обладнання, зменшити енергетичні затрати на процес очищення, а, отже, і знизити вартість очищення порівняно з використанням декількох окремих апаратів.

У цьому плані досить вдалим є створення пиловловлювачів, в яких поєднані, як відомо, принципи дії відцентрових і жалюзійних апаратів. Теоретичні і експериментальні дослідження таких апаратів, результати успішної експлуатації їх у різних умовах ряду виробництв переконливо довели можливість підвищення ефективності пиловловлювання і зниження гідравлічного опору за рахунок застосування у відцентрових пиловловлювачах жалюзійного відводу очищеного газу [1, 2].

Однак, як і у циклонах, із збільшенням діаметра апаратів ефективність очищення в них зменшується. У циклонних пиловловлювачах цей недолік усувається створенням батарейних циклонів. Цілком закономірним є питання про вдосконалення таким чином відцентрових апаратів з жалюзійним відводом повітря. Перевірити доцільність такого рішення було основною метою проведених досліджень.

Створений батарейний циклон з жалюзійними елементами показано на рис. 1.

Пиловловлювач складається з вхідного патрубка *1*, розподільної камери *2*, жалюзійних елементів *3*, напрямних апаратів *4*, бункера *5*,

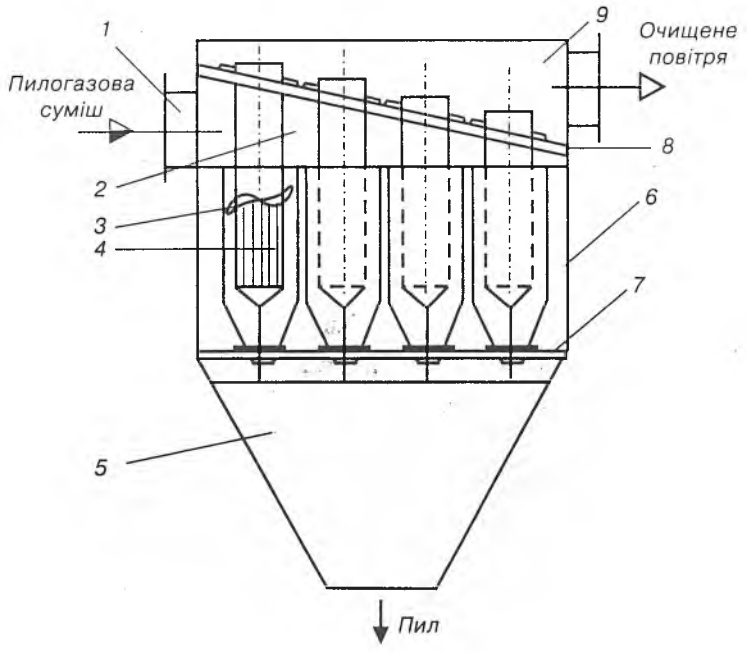

Рис 1. Батарейний циклон з жалюзійними елементами: *1* — вхідний патрубок; *2* — розподільна камера; *3* — жалюзійний елемент; *4* — напрямний апарат; *5* — бункер; *6* — корпус; *7* — нижня опорна решітка; *8* — верхня опорна решітка; *9* — камера очищеного газу

корпуса *6*, нижньої *7* і верхньої *8* опорних решіток, камери очищеного газу *9*.

Запилений газ через вхідний патрубок *1* надходить у розподільну камеру *2* і рівномірно розподіляється по всьому перерізу апарата. Для цього верхню опорну решітку встановлюють похиленою, і об'єм камери зменшується в напрямі руху запиленого газу. Через кільцеві зазори між корпусами жалюзійних елементів *3* і їх вихідними трубами запилений газ надходить у напрямні апарати *4*, де він закручується, і закрученим рухається вниз. Під дією відцентрової сили частинки пилу відкидаються до корпусів елементів і крізь пиловивідні отвори надходять у загальний бункер *5*, де осідають. Очищений газ через бокову поверхню вихідних труб, які у нижній частині виконані у вигляді жалюзійних решіток, потрапляє всередину цих труб і надходять у камеру очищеного газу *9*, звідки виводиться з апарата.

Що стосується особливостей конструкції цього пиловловлювача, то, насамперед, слід зауважити, що його конструкцію розробляли відповідно до [3], бо саме батарейні циклони Науково-дослідного інституту очистки газу є найпоширенішими серед інших і мають найкращі показники роботи серед них, а також відповідно до [2], де розроблено методику розрахунку і конструювання відцентрово-інерційних пиловловлювачів із жалюзійним відводом повітря.

Так, корпус апарата виконано прямокутним. У ньому розміщено вісім циклонних елементів у два ряди по чотири в кожному. Діаметр циклонних елементів складає 100 мм, розраховані вони на оптимальну продуктивність 0,035 $м^3/с$ (125 $м^3/год$) кожний. Отже, загальна продуктивність батарейного циклона становить 0,28 $м^3/с$ (1000 $м^3/год$). Усі інші елементи конструкції, крім вихідної труби, яку виконано у нижній частині у вигляді жалюзійної решітки, виконані також згідно з рекомендаціями [2].

Щодо жалюзійної решітки, то її діаметр співпадає з діаметром вихідної труби циклонного елемента. Вона починається нижче напрямного апарата, в якому закручується запилений потік, і виконана у вигляді випуклих назустріч потоку, що обертається, пластин. На відміну від відцентрово-інерційних пиловловлювачів з жалюзійним відводом повітря, з яких запозичена її конструкція, у створеному батарейному циклоні вона не закривається частково суцільним листом. У розроблених і досліджених раніше пиловловлювачах таке рішення було необхідне для розшарування запиленого потоку, для чого слід повернути його мінімум на 180°. У циклонних елементах створеного батарейного циклона таке розшарування проходить при закручуванні потоку в напрямних апаратах.

Іншою особливістю жалюзійної решітки є те, що знизу вона закрита глухим конічним днищем. Таке конструктивне рішення сприяє тому, що весь потік очищеного газу надходить у вихідну трубу через бокову поверхню жалюзійної решітки. Таким чином, створюються всі умови для жалюзійного розділення, не утворюються вихори і підсмоктування газу знизу вихідної труби, як це спостерігається в циклонах, і тому неможливий винос пилу з апарата потоком очищеного газу, який піднімається у вихідні труби.

Для закручування пилогазового потоку, що надходить у циклонні елементи, можуть бути використані напрямні апарати різних конструкцій, найпоширенішими з яких є апарати типу «гвинт» і «розетка». Застосування першого з них дає змогу знизити гідравлічний опір батарейного циклона порівняно з апаратами типу «розетка». Однак циклонні елементи з апаратами типу «розетка» мають вищу ефективність пиловловлювання [4]. Тому для оцінки доцільності застосування того чи іншого напрямного апарата в створеному батарейному циклоні передбачено можливість використати обидві їх різновидності, щоб потім можна було провести їх порівняльну оцінку і вибрати кращий.

Особливістю створеного пиловловлювача є і те, що корпус одного з циклонних елементів виконано зі скла, а на місці його встановлення у корпусі пиловловлювача зроблено оглядове вікно, що дає змогу візуально спостерігати за процесом, який протікає в апараті.

Оцінити правильність прийнятих технічних рішень, їх відповідність тим теоретичним викладам, які прийняті під час створення пиловловлювача, можна лише після проведення цілого комплексу експериментальних досліджень за загальноприйнятою для цього класу обладнання методикою на експериментальному стенді, вимоги до якого також регламентовані тією ж методикою.

За цією методикою передбачено проведення стендових порівняльних випробовувань пиловловлювачів, метою яких є встановлення найоптимальнішої конструкції і оцінка основних параметрів її економічності, а також під час випробування нової конструкції — порівняльна оцінка з випробовуваними за цією методикою іншими пиловловлювачами того ж класу.

Як об'єкт для порівняння прийнято відцентрово-інерційний пиловловлювач з жалюзійним відводом повітря вдосконаленої конструкції, випробуваний у повній відповідності з вимогами [2]. Вибір цього апарата як об'єкта порівняння обумовлено тим, що саме його конструкція є основою циклонних елементів створеного батарейного циклона. Отже, порівняння результатів випробувань цих двох апаратів дадуть вичерпну відповідь про доцільність чи недоцільність створення батарейного циклона з жалюзійними елементами. Крім того, під час випробувань відцентрово-інерційного пило-

вловлювача з жалюзійним відводом повітря [2] як об'єкт порівняння було прийнято циклон ЦН-11 конструкції Науково-дослідного інституту очистки газів, показники роботи якого переважають показники роботи інших сухих циклонів. Оскільки під час створення батарейного циклона з жалюзійними елементами взято до уваги рекомендації конструкції Науково-дослідного інституту очистки газів [3], то, результати, одержані під час випробувань створеного батарейного циклона, дадуть відповідь і на питання про доцільність такого конструктивного рішення.

Для проведення порівняльних випробувань створеного батарейного циклона було змонтовано експериментальний стенд, основні вимоги до якого регламентовані. Схему цього стенда наведено на рис. 2.

Основним обладнанням стенда є вентилятор середнього тиску *1* продуктивністю 0,55 м^3/с (2000 м^3/год), пиловловлювач, що досліджується, оптимальною продуктивністю 0,28 м^3/с (1000 м^3/год) *2*, вимірювальні прилади (пневмометричні трубки *3*, *4*, дифманометри *5*, *6*, *7*), пилоподавач *8*.

Трубопроводи стенда і батарейний циклон відповідають вимогам герметичності. Перевірку на герметичність проводять в період налагодження роботи стенда.

Приміщення стенда забезпечене приточною вентиляцією для компенсації повітря, яке видаляється з стенду зовнішнім повітрям, підігрітим в холодну пору року.

Для всіх видів пиловловлювачів методика проведення порівняльних випробувань передбачає визначення таких основних технічних показників: загальний ступінь очищення η (%) і гідравлічний опір Δp (Па).

Для контролю за додержанням вимог до експериментального пилу передбачається визначення дисперсного складу пилу, який подається в батарейний циклон, що досліджується.

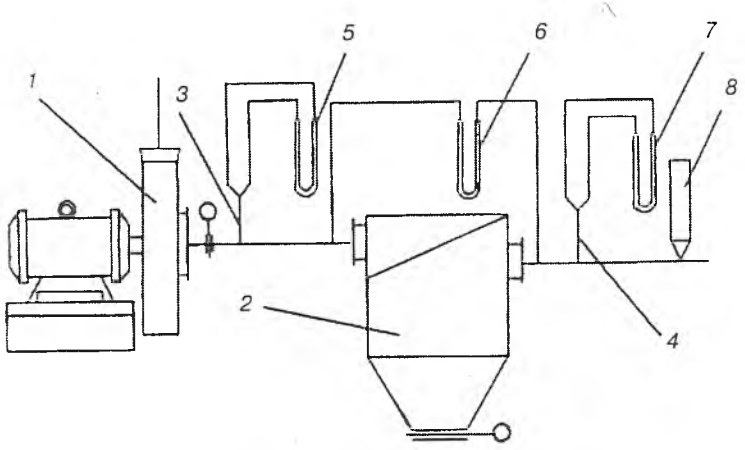

Рис 2. Схема експериментального стенда: *1* — вентилятор; *2* — пиловловлювач; *3*, *4* — пневмометричні трубки; *5*, *6*, *7* — дифманометри; 8 — пилоподавач

Оскільки визначення гідродинамічних характеристик сухих пиловловлювальних апаратів повинно проводитись на незапиленому повітрі, то визначення гідравлічного опору створеного батарейного циклона також проводили на незапиленому повітрі. Саме тому проведення порівняльних випробувань проводили за два послідовних етапи. Спочатку були визначені гідродинамічні характеристики батарейного циклона на незапиленому повітрі, встановлено вплив різних факторів на ці характеристики, а на другому етапі досліджень визначали ефективність очищення з наведенням характеристик експериментального пилу тощо.

Результати щодо визначення гідродинамічних характеристик батарейного циклона з жалюзійними елементами подано у вигляді залежності гідравлічного опору Δp від швидкості газового потоку $w_{пл}$ (рис. 3).

Як видно з одержаних результатів, пиловловлювач із напрямними апаратами типу «розетка» має дещо більші значення гідравлічного опору порівняно з апаратом із напрямними апаратами типу «гвинт». Так, при оптимальній швидкості повітряного потоку $w_{пл}$ = = 3,5 м/с коефіцієнт гідравлічного опору пиловловлювача з напрямним апаратом типу «розетка» становить 102, а із напрямним апаратом типу «гвинт» — 68.

Якщо порівнювати значення гідравлічного опору створеного пиловловлювача з опором відцентрово-інерційного пиловловлювача, то опір відцентрово-інерційного пиловловлювача менший за опір батарейного циклона за тих же значень швидкостей. Зумовлено це, передусім, меншими втратами напору на вході в апарат, а також відсутністю в його конструкції вхідної і вихідної камер, що створюють додатковий опір. Якщо ж порівнювати гідравлічний опір створеного пиловловлювача з опором батарейного циклона із звичайними циклонними елементами конструкції Науково-дослідного інституту очистки газів [3], то застосування жалюзійного відводу повітря в створеному апараті дає змогу відчутно зменшити гідравлічний опір його порівняно зі звичайними батарейними циклонами, що повною мірою підтверджує доцільність його створення.

Застосування для обробки одержаних експериментальних даних методу графічного розв'язання рівняння $\lg(\Delta p) = \lg(a) + m\cdot\lg(Q)$ дає змогу встановити аналітичну залежність між величиною гідравлічного опору і витратою повітря у вигляді $\Delta p = a\cdot Q^m$. Наявність такої залежності значно спрощує методику розрахунку пиловловлювача.

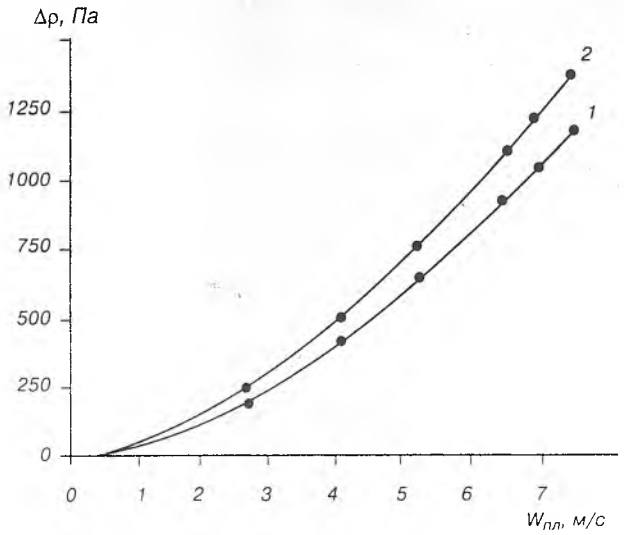

Рис. 3. Залежність гідравлічного опору від швидкості повітряного потоку: *1* — із закручувальним елементом типу «гвинт»; *2* — із закручувальним елементом типу «розетка»

Визначення ефективності пиловловлювання створеного батарейного циклона проводили за тих же режимних параметрів, за яких визначався його гідравлічний опір. Як експериментальний пил використовувався кварцовий пил густиною ρ 2650 кг/м^3 з медіанним діаметром 8 мкм. Концентрація пилу у вхідному потоці була постійною і становила 3 г/м^3. За результатами досліджень були побудовані графіки залежності ефективності пиловловлювання в батарейному циклоні з жалюзійними елементами η від величини швидкості пилогазового потоку через апарат $w_{пл}$ для пиловловлювачів з двома типами напрямних апаратів: типу «гвинт» і «розетка» (рис. 4). На цих же графіках наведено для порівняння графік залежності ефективності пиловловлювання від швидкості пилогазового потоку через апарат для відцентрово-інерційного пиловловлювача з жалюзійним відводом повітря тієї ж продуктивності.

Зручнішими для порівняння ефективності пиловловлювання в батарейному циклоні з жалюзійними елементами і у відцентрово-інерційному пиловловлювачі з жалюзійним відводом повітря є графіки залежностей ефективності пиловловлювання від величини продуктивності апарата Q (м^3/с) (рис. 5).

За результатами проведених досліджень можна зробити висновки про оптимальні умови роботи створеного апарата. Це, насамперед, швидкість пилогазового потоку, яка повинна бути близькою до 3,5 м/с, швидкість проходження очищеного потоку через жалюзійну решітку, яка має бути близькою до 5 м/с. Ці ж результати дають змогу стверджувати про доцільність застосування того чи іншого типу напрямних апаратів — «гвинт» чи «розетка» як з точки зору гідравлічного опору, так і з точки зору ефективності пиловловлювання.

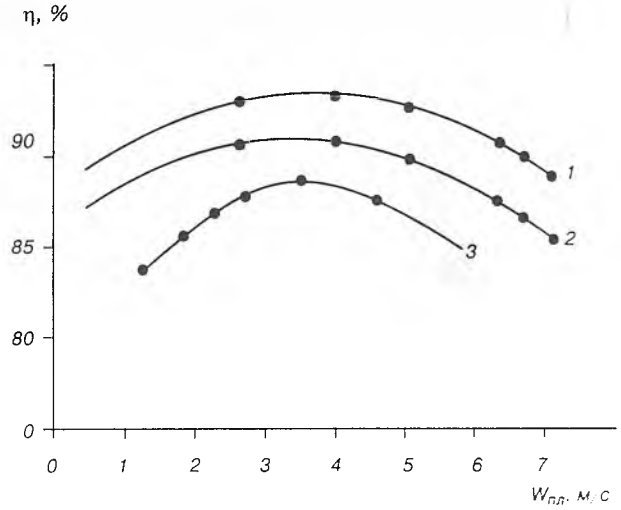

Рис. 4. Графік залежності ефективності пиловловлювання від $w_{пл}$: *1* — батарейний циклон з напрямним апаратом типу «розетка»; *2* — батарейний циклон з напрямним апаратом типу «гвинт»; *3* — відцентрово-інерційний пиловловлювач

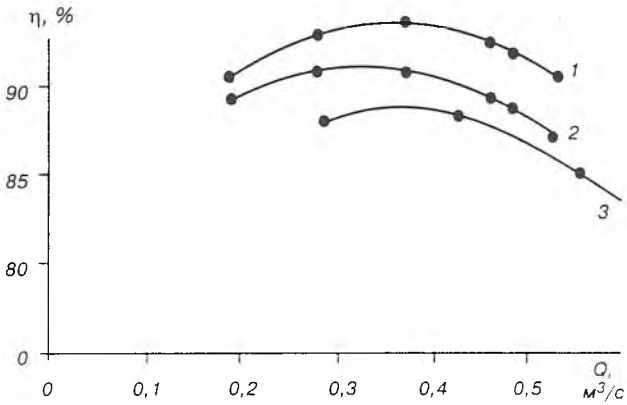

Рис. 5. Графік залежності ефективності пиловловлювання від Q: *1* — батарейний циклон з напрямним апаратом типу «розетка»; *2* — батарейний циклон з напрямним апаратом типу «гвинт»; *3* — відцентрово-інерційний пиловловлювач

Отже, такий спосіб вдосконалення пиловловлювального обладнання є перспективним, потребує подальшого вивчення та вдосконалення і може знайти широке практичне застосування.

ЛІТЕРАТУРА

1. *Батлук В.А.* Исследование процесса пылеулавливания с помощью жалюзийного инерционного пылеуловителя нового типа: Дис. ... к.т.н. Львов: 1973. 143 с.
2. *Куц В.П.* Повышение эффективности пылеулавливания в центробежно-инерционных пылеотделителях с жалюзийным отводом воздуха: Дис. ... к.т.н. Львов: 1986. 221 с.
3. *Циклоны* НИИОГаз // Руководящие указания по проектированию, изготовлению, монтажу и эксплуатации. Ярославль: Ярославское книжное изд-во, 1970. 250 с.
4. *Справочник* по пыле- и золоулавливанию // Под. ред. А.А. Русанова. М.: Энергия, 1975. 296 с.