

## Список літератури

1. М.А.Новік Режими позиціонування пневматичних приводів // Вестник национального технического университета Украины "Киевский политехнический институт". Машиностроение.-К.: НТУУ "КПИ".- 2006.-№49.-с.125-130.
2. А.С.1372112 СССР,МКИ F15B 11/12, Гидравлический цифровой привод, Н.А.Новик, Ю.П.Сенченко(СССР)-412854/25-06: заявлено 10.08.86: Оpubл. 07.02.88. Бюлл.№5.-3с.
3. М.А.Новік Динаміка пневматичного цифрового приводу з гідравлічним гальмуючим пристроєм //Технологія і техніка друкарства.-2006.-Вип.4.-с.81-87.
4. А.С.1038631 СССР, МКИ F15B 11/12, Пневмогидравлический цифровой привод, Н.А.Новик(СССР)- 2882313/25-06: заявлено 15.02.80; Оpubл. 30.08.83: Бюлл.№32.-3с.
5. А.С.744150 СССР,МКИ F15B 11/18, Привод дискретного действия //А.Г.Карлов, Б.В.Баринов, В.Я.Копп(СССР)- Оpubл. в Б.И.№24.
6. А.С.1418513 СССР, МКИ F15B 11/12, Пневмогидравлический цифровой привод, В.А.Федорен, В.Б.Струтинский, М.А.Новик, А.М.Педченко(СССР)-4196828/25-06: заявлено 18.12.86: Оpubл. 23.08.88: Бюлл.№31.-3с.
7. Герц Е.В. Пневматические приводы.-М.:Машиностроение.-1969.-358.

УДК 621.928.9

**В.А.Батлук, д-р техн.наук, проф., А.В.Ляшеник, канд.техн.наук,  
С.В.Шибанов, канд.техн.наук, доц., О.В.Мельников, канд.техн.наук,  
І.В.Проскуріна  
НУ „Львівська політехніка”, м.Львів, Україна**

### **НОВІ МЕТОДИ ОЧИСТКИ ПОВІТРЯ В КОКСОХІМІЧНОМУ ВИРОБНИЦТВІ**

---

*В статье приводятся данные, которые подтверждают тезис о невозможности сегодня улавливать мелкодисперсную пыль, которая образуется в коксохимическом производстве, поэтому предложена принципиально новая конструкция мокрого пылеуловителя со специальной формой жалюзи; испытания которые позволяют утверждать о повышении эффективности улавливания такого типа пыли на 5-8% и уменьшении энерго- и металлоёмкости.*

*Information, which confirm a thesis about impossibility today to catch a dust which appears in a coal-chemistry production, is presented in the article, the on principle new construction of hydrofilter is therefore offered with a nospread function жалюзи; the tests of which allow to assert about the increase of efficiency of catching of such type of dust on 5-8 and to decrease here energie- and metalmaterials.*

---

Захист атмосферного повітря від забруднення є однієї з найбільш актуальних проблем сучасності. Коксохімічне підприємство (КХП) - це сукупність специфічних виробництв, пов'язаних з високотемпературною обробкою вугільної шихти без доступу повітря й переробкою з одержанням, як цілого, так і коксового газу, який виділяється при цьому. Традиційні технологічні процеси в ряді випадків пов'язані з виділенням в атмосферне повітря шкідливих речовин, що входять до складу коксового газу, таких як аміак, оксид вуглецю, оксид азоту, диоксид сірки, сірководень, ціаністий водень, бензол, нафталін, феноли, а також вугільного й коксового пилу.

Виділення пилу в атмосферу на коксохімічних підприємствах пов'язане з особливостями технологічних процесів. Основна маса пилу утвориться при виробництві коксу. При розвантаженні вагонів з вугіллям, зберіганні й усередненні

вугілля на відкритих складах, транспортуванні, перевантаженнях, дробленні, сушінні, сепарації вугілля, термообробці шихти і її завантаженню камери виділяється вугільний пил. Утворення коксового пилу відбувається при видачі (виштовхуванні) коксу із камер, при транспортуванні, розсіві, дробленні й відвантаженні коксу, а також - зі свіч форкамери й димососа. Найбільш гострою є проблема вловлювання коксового пилу при сухому гасінні коксу. Технічні рішення по апаратурному оформленню процесів пилувловлення відрізняються низькою ефективністю й надійністю.

Крім зазначених процесів, на коксохімічних підприємствах можливе виділення сажі з димарів. Утворення сажі відбувається в опалювальних системах коксових батарей при їх розгерметизації й наявності просакування сирого коксового газу в опалювальні канали. Для боротьби з викидами сажі проводять гаряче торкретування кладки камер, і тоді виключається необхідність спорудження газоочисних установок.

У сульфатних відділеннях цехів уловлювання хімічних продуктів коксування при сушінні, транспортуванні, затарюванні й відвантажуванні сульфату амонію виділяється дрібнокристалічний пил сульфату. Гарна змочуваність і розчинність у воді цього пилу забезпечують досить повне (до 99 %) її вловлення у звичайних мокрих циклонах.

Всі пилові викиди можуть бути розділені на організовані й неорганізовані: перші мають місце при завантаженні вугільної шихти в камери, видачі й гасінні коксу; другі - з вихлопних труб систем аспірації об'єктів транспортування, здрібнювання, сепарації, сушіння вугільної шихти, а також при перевантаженнях і розсіві коксу, особливо коксу сухого гасіння. Організовані викиди пилу зменшують за допомогою очищення в різних пилувловлювачах. Боротьба з неорганізованими викидами має на меті захист атмосферного повітря від забруднення й ведеться, як правило, технологічними заходами або переведенням їх в організовані шляхом спорудження спеціальних установок. Заходи щодо зменшення організованих викидів, крім захисту атмосфери, мають на меті ще і поліпшення умов праці.

Оскільки аспіраційні системи оснащені пилувловлюючими апаратами, є певна недооцінка внеску організованих викидів у забруднення атмосферного повітря. У той же час інвентаризація викидів на ряді коксохімічних підприємств (КХП) показала, що пилові викиди від організованих джерел досягають 30% всіх викидів, а на КХП із сухим гасінням до 70%. Крім того, у ряді випадків технічні рішення вибору обезпилюючого устаткування не відповідають нормованим вимогам, тому існує проблема підвищення ефективності й надійності пилувловлювачів. На КХП продовжують застосовувати мокрі пилувловлювачі, в зв'язку з чим існує проблема переробки й утилізації шламових вод. Тому перехід на сухі методи пилувловлення набуває актуальності й значимість, оскільки мова йде не тільки про захист повітряного басейну промислових майданчиків і населених пунктів від пилових забруднень, але й про охорону водоймищ, зменшенні водоспоживання, поліпшення економічних показників виробництва. Особливо це стосується проблеми вловлювання коксового пилу, що визначається прогнозованим розширенням впровадження установок сухого гасіння коксу (УСТК), екологічна оцінка яких у значній мірі залежить від успіхів в обезпилюванні газів і аспіраційного повітря. У наявній технічній літературі питання

обезпилювання газів і повітря на коксохімічних підприємствах практично не розглянуті, що створює певні труднощі при проектуванні, експлуатації й контролі за роботою пиловловлювачів.

Основними фізико-хімічними властивостями пилу, які варто вивчати й урахувати при виборі пиловловлювачів, є щільність, дисперсний склад, злипаємість, змочуваність, питомий електричний опір, пожежо- і вибухонебезпечні властивості, концентрація газових сумішей. Методи визначення перерахованих властивостей досить повно описані в літературі [1-3]. Оскільки характеристики вугільного й особливо коксового пилу окремо ніким не розглядалися, нижче наведені відомості про їх, які взяті із цілого ряду джерел і отримані експериментально.

Дисперсний склад пилу є однієї з найважливіших характеристик у технології пиловловлення, що визначає розрахунок і вибір пиловловлювачів.

Відповідно до Госту 12.2.043-80 пиловловлювачі поділяються на дві категорії: апарати без застосування рідини й з її застосуванням.

Сухі пиловловлювачі залежно від наявності фізичних процесів поділяються на гравітаційні, інерційні, фільтраційні й електричні. На коксохімічних підприємствах України знайшли застосування гравітаційні й інерційні пиловловлювачі, певну перспективу мають тканинні фільтри й електрофільтри.

Останнім часом в аспіраційних системах на сортуванні коксу сухого гасіння стали встановлювати колектори (ВК) і барабанні аспіраційні системи (БА). Цей тип інерційних пиловловлювачів служить одночасно для пиловловлення й об'єднання декількох відводів від устаткування в один. Вертикальний круглий колектор розрахований на приєднання повітряводів із загальною витратою повітря до 60 тис.м<sup>3</sup>/год і розрідженні до 2 кПа. Барабанний аспіраційний колектор розрахований на продуктивність по повітрю від 2,8 до 35 тис.м<sup>3</sup>/год. Як правило, колектори застосовують для попереднього очищення порівняно невеликих обсягів газів з високою концентрацією пилу.

В інерційних пиловловлювачах виділення часток з газового потоку відбувається під дією сил інерції, що виникають при зміні напрямку або швидкості руху газу. У цій групі найпоширеніші відцентрові пиловловлювачі - циклони, у яких відділення частинок від газового потоку відбувався за рахунок відцентрових сил, які виникають при обертанні запиленого потоку в циклоні й зміні напрямку потоку при виході у вихлопну трубу. Найбільше поширення в системах газоочистки й аспірації на коксохімічних підприємствах одержали циклони НИИОгаза й СИОТ. Конічні, або високоефективні, циклони поділяються на СДК - ЦН-33, СК - ЦН - 34 і СК - ЦН-22, де З - наявність спірального вхідного патрубку ("равлика"), Д - довгоконусного, ДО - конічного, цифра - відношення діаметра вихлопної труби до діаметра циліндричної частини корпусу. Порівняння їх характеристик показує, що найбільш ефективним є циклон СК – ЦН - 22, але при цьому втрати тиску в ньому надзвичайно великі. Так, при вловлюванні дрібнодисперсного вугільного пилу з газового теплоносія установки формованого коксу ступінь очищення в циклоні СК – ЦН - 22 діаметром 200 мм становить 97,9 - 99,7%, однак втрати тиску при цьому досягають 8,1 - 8,9кПа. Розрахунки показують, що циклон СК - ЦН - 22 може використовуватися для

ефективного вловлення абразивного коксового пилу: при малому абразивному зношуванні (швидкість у вхідному патрубку 10 м/с) ступінь очищення апарата діаметром 2000 мм буде становити ~ 98%. Недоліком такого варіанта є деяке збільшення габаритів і металоємності циклона.

Циклони типу ЦН піддані абразивному зношуванню, тому при вловлюванні, наприклад, коксового пилу їх необхідно футерувати. Конічні циклони більше стійкі до абразивного зношування, оскільки швидкості пилогазового потоку в них в 1,5 - 2,0 рази менші, ніж у ЦН.

Особливістю застосування конічних циклонів є труднощі їх компонування в групи. Це пов'язане з підвищеним гідравлічним опором цих апаратів і обумовленої цим неможливістю рівномірного розподілу пилогазового потоку по елементах групи. Виходячи із цього навіть при великій продуктивності по повітрю ці циклони застосовують в одиночному виконанні.

Взагалі останнім часом стереотипний підхід до залежності ступеня очищення від діаметра циклона змінився. Відомо, що чим більше діаметр циліндричної частини циклона, тим більший шлях повинна пройти частинка в процесі її виділення з газу, тим менше величина відцентрової сили, що відкидає частку пилу до стінок циклона, і, отже, менше буде ступінь очищення. Однак недоліки групового виконання, пов'язані з нерівномірним розподілом газу по елементах, наявністю перетікань газу між елементами через загальний бункер, здатні значно зменшити ступінь очищення. Справа в тому, що тільки в бункері циклона за рахунок різкого збільшення перетину й падіння швидкості відбувається остаточне виділення частинок пилу з газового потоку. При цьому в бункері здійснюється обертовий рух газових потоків – зовнішній і внутрішній. Рух внутрішнього потоку, подібно смерчу, спрямований нагору. Порушення обертового руху в бункері неминуче приводить до помітного зниження ступеня очищення.

З урахуванням підвищеної металоємності, трудомісткості й більшої площі, яку займає груповий циклон, при практично однаковому ступені очищення перевага надається одиночним циклонам

На деяких збагачувальних фабриках і в вуглопідготовчих цехах успішно експлуатуються циклони СИОТ. Ці апарати відрізняються корпусом конічної форми, кришкою корпусу у вигляді гвинтоподібної спіралі чи вхідним патрубком трикутної форми. Трикутна форма вхідного отвору є найбільш доцільною, оскільки дозволяє наблизити траєкторії руху повітря до внутрішньої стінки корпусу циклона й тим самим збільшити ступінь очищення.

Незважаючи на досить велику номенклатуру сухих пиловловлювачів на коксохімічних підприємствах дотепер застосовуються мокрі пиловловлювачі, тобто апарати із застосуванням рідини. Підставою для таких рішень служить існуюча думка про можливість досягнення високого ступеня очищення й легкого її коректуванню шляхом зміни витрати рідини. Взагалі практика показує, що ефективність мокрих пиловловлювачів визначається головним чином витратами енергії на процес очищення.

З наведеного вище ясно видно, що сьогодні не існує апаратів сухого очищення пилу, здатного високоефективно вловлювати вугільний пил і сажу.

Метою нашої роботи є створення нової конструкції пиловловлювача, в якому система доочистки повітря від дрібнодисперсного пилю забезпечується виконанням певним чином жалюзі відокремлювача, що дозволяє виділити з уже очищеного пилогазового потоку найдрібніші фракції і протранспортувати їх зверху вниз у напрямку до пиловипускного патрубку і за рахунок цього збільшити ефективність роботи апарата.

Яким чином ми цього досягаємо буде ясно з опису його конструкції та роботи (рис.1).

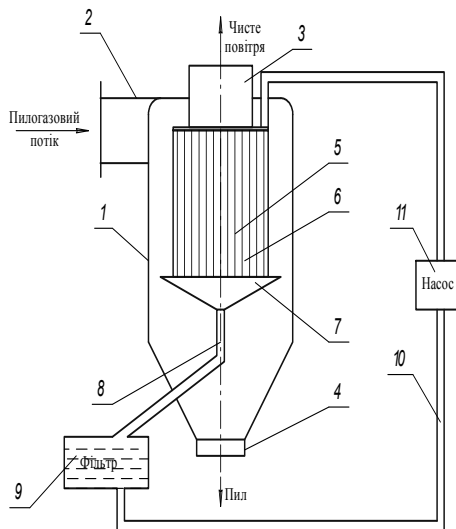


Рис. 1 Пиловловлювач

Пилоповітряна суміш через тангенційний вхідний патрубок 2 вводиться в простір, утворений корпусом апарата 1 і жалюзійним відокремлювачем 5, де за рахунок дії відцентрових сил після його входу в апарат тангенційно через патрубок 2 розділилося на два гвинтоподібних потоки: перший - вздовж стінки корпуса 1, другий - навколо жалюзійного відокремлювача 5. У другому потоці частинки пилю не встигають за рухом повітря, яке круто повертає в щілини між жалюзі 6 відокремлювача, через наявність сил інерції: які діють на них, попадають на жалюзі 6, відбиваються від них доти, доки не відіб'ються до стінки корпуса апарата 1 і не підхопляться

першим потоком, що рухається до пиловипускного патрубку 4. Крім того, виконання частини корпуса конічним запобігає подальшому змішуванню виділеної пилю, що рухається вздовж стінки корпуса, з потоком, що йде на доочистку в відокремлювачі за рахунок збільшення відстані між ними.

Більш дрібні частинки пилю захоплюються потоком повітря до жалюзійного відокремлювача 5 (рис. 2, 3). Повітря проходить інерційний відокремлювач 5 крізь щілини 16, що розміщені між жалюзі 6 і пастками 14. При цьому повітря робить різкий поворот малого радіуса на кут більший за  $90^\circ$ , але менший за  $180^\circ$ . Дрібні частинки пилю також виконують поворот в напрямку щілини 16, але, завдяки силі інерції, радіус повороту в них значно більший, ніж у повітря, за рахунок чого дрібні пилові частинки пролітають мимо щілини 16, стикаються з жалюзі 6, відбиваються від них або сповзають по їх поверхні (залежно від маси і пружності частинок, місця їх попадання на жалюзі та кута, під яким відбувається удар частинки з жалюзі) і попадають у вхідну щілину 12 пасток. Якщо пилова частинка дуже сильно відіб'ється від жалюзі 6, вона знову попадає до пилоповітряного потоку, що обертається навколо

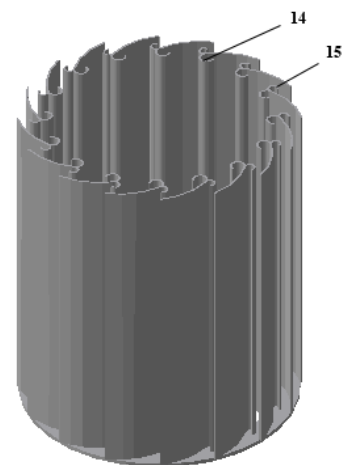


Рис. 2. Жалюзійний відокремлювач

жалюзійного-відокремлювача, знов вдаряється об одну з наступних жалюзі доти, доки не попадуть в щілину 12 пастки. Частинки пилю, попавши в пастки через вхідні щілини 12, рухаються в них спочатку вздовж каналу 14 пастки вниз, де знов попадають у пиловий потік великодисперсних фракцій пилю, який рухається паралельним курсом зверху вниз вздовж стінки корпусу апарата і транспортується через пиловипускний патрубок 4 в бункер для збирання пилю (на кресленні не показаний).

Із жалюзійного відокремлювача 5 очищене повітря, що пройшло крізь щілини 16 через вихлопну трубу 3, викидається назовні.

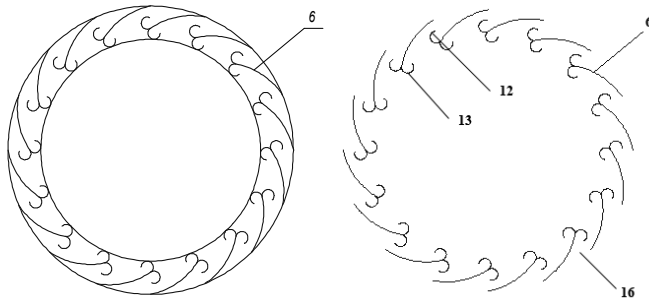


Рис. 3. Горизонтальна проекція жалюзійного відокремлювача

Очищений від великодисперсного пилю потік, доочищений додатково в другій ступені очищення – жалюзійному відокремлювачі 5, проходить через щілини 16 між жалюзі 6 усередину відокремлювача 5 і попадає під дію четвертої ступені очищення - потоком води, який рухається вздовж жалюзі 6 по її внутрішній стороні. Вода пода-

ється через систему водопостачання, яка складається з трубопроводу 10 і насоса 11, після очищення у фільтрі 9 до форсунок для води, розташованих у верхній частині жалюзі 6 на рівні нижнього краю патрубку для виходу очищеного повітря 3, через які розпилюється на жалюзі 6 відокремлювача 5. Вода після попадання на жалюзі 6 у верхній їх частині опускається вниз по її внутрішній поверхні по вертикальному каналу 15, утвореному пасткою 13 жалюзі 6 і при цьому захоплює дрібнодисперсні частинки пилю, які несуться разом з потоком, і транспортує їх вниз у конічне дно 7 - для збору пиловодяної суміші, звідки по трубопроводу 8 - у фільтр 9, де відбувається відокремлення пилю від води. Після цього очищена вода по трубопроводу 10 за допомогою насоса 11 подається примусово до форсунок для води, розташованих на рівні нижнього краю патрубку для виходу очищеного повітря 3.

Перевагою запропонованого пиловловлювача є те, що він має третю ступінь очищення - у пастці 12, тобто пил, який не відбився жалюзі 6 назад всередину корпусу апарата, проскакує в щілину 16 між жалюзі і попадає у вхідний отвір пастки 12 жалюзі 6, звідки вже самостійно вибратися не може і опускається під дією сили ваги зверху вниз по каналу 14 пастки 12, розташованому із зовнішньої вигнутої сторони жалюзі аж до нижнього краю жалюзійного відокремлювача 5, де змішується з потоком великодисперсних фракцій пилю, який рухається паралельним курсом зверху вниз вздовж стінки корпусу апарата і транспортується через пиловипускний патрубок 4 в бункер для збирання пилю (на кресленні не показаний).

Істотною перевагою запропонованого пиловловлювача є те, що він має четверту ступінь очищення – мокру очистку. Вода подається форсунками 9 на кожну жалюзі 6 з її внутрішньої сторони (сторони, яка повернута до осі апарата) всередину пастки 13 її і

під дією сили ваги опускається по кожній жалюзі по каналу 15, утвореному пастками 13 жалюзі зверху вниз в напрямку до пиловипускного патрубку 4, проходячи через конічне дно 7, патрубок 8 до фільтра 9 для очищення води від дрібнодисперсного пилю в бункер фільтра (на кресленні не показаний), і патрубок 10 за допомогою насоса 11 знов до форсунок для води у верхню частину відокремлювача, тобто в прототипі процес очистки повітря від пилю відбувається в два етапи, і той дрібнодисперсний пил, який проноситься потоком через отвори 16 між жалюзі 6 відокремлювача 5 вже не вловлюється і виноситься назовні через патрубок 3 виходу очищеного повітря.

У запропонованій конструкції апарату мокра доочистка повітря водою, що рухається по внутрішній стороні жалюзі 6 дозволяє виділити з потоку найдрібніші частинки пилю, які є найнебезпечнішими і звичайно тим самим збільшити ефективність пиловловлення.

На багатьох підприємствах України вода є у дефіциті, що гальмує впровадження у виробництво цілого ряду мокрих пиловловлювачів, тому нами було поставлене завдання мінімізувати кількісні втрати води, що і було реалізоване у запропонованій конструкції апарата шляхом створення в тілі жалюзі пасток певної форми, які не дають розбризкуватися воді. Крім того у наведеній конструкції апарата вода необхідна не для насичення пилю водою, а тільки для зволоження дрібнодисперсного пилю, який попав всередину жалюзійного відокремлювача не виділившись у попередніх трьох ступенях очистки. Крім того у запропонованій конструкції система водопостачання є замкнутою, тобто вода зразу ж в системі пиловловлювача очищується від пилю у фільтрі і насосом через систему трубопроводів знов подається у верхню частину жалюзійного відокремлювача. Зменшення необхідної кількості води досягається за рахунок того, що змочуванню піддається тільки та невелика кількість дрібнодисперсного пилю, яка у звичайних апаратах викидається назовні разом з очищеним повітрям, тобто та частина пилю, яка значно впливає на ефективність роботи пиловловлювача.

Таблиця 1

Розхід повітря, що входить в апарат, м <sup>3</sup> /год	Відношення радіуса пастки 12 до довжини жалюзі 6	Ефективність пиловловлення, %
1000	1/5	95,3
	1/6	95,9
	1/8	96,2
	2,0	95,1
	0,5	93,3
2000	1/5	95,8
	1/6	96,4
	1/8	97,8
	2,0	96,7
	0,5	94,5
3000	1/5	96,2
	1/6	97,6
	1/8	98,1
	2,0	97,1

Були проведені дослідження для вибору оптимальної величини радіуса пасток 12 і 13 в залежності від довжини жалюзі на експериментальному стенді ДУ "Львівська політехніка" для кварцового піску з медіанним діаметром 32 мкм. Дані випробувань для пастки 12, наведені в табл. 1.

Дані випробувань для пастки 13 наведені в табл. 2(при відношенні радіуса пастки 12 до довжини жалюзі 6, яке дорівнює 1/8)

Таблиця 2

Розхід повітря, що входить в апарат, м <sup>3</sup> /год	Відношення радіуса пастки 13 до довжини жалюзі 6	Ефективність пиловловлення, %
1000	1/5	95,1
	1/6	95,7
	1/8	96,6
	2,0	95,1
	0,5	93,3
2000	1/5	95,5
	1/6	96,0
	1/8	97,9
	2,0	96,5
	0,5	94,5
3000	1/5	96,0
	1/6	97,5
	1/8	98,8
	2,0	97,1

Дослідження показали, що найбільша ефективність вловлення пилу в пиловловлювачі відбувається при відношенні радіуса пастки до довжини жалюзі, яке дорівнює 1/8. На цьому ж стенді і в таких ж умовах були проведені дослідження по визначенню відношення довжини вхідної щілини в пастку до довжини кола, що утворює цю пастку (табл.3).

Таблиця 3

Розхід повітря м <sup>3</sup> /год	L	Ефективність пиловловлення, %
1000	1/2	95,1
1000	1/3	97,1
1000	1/4	95,0
2000	1/2	96,2
2000	1/3	98,3
2000	1/4	96,3

Таким чином, максимальна ефективність уловлення пилу досягається тоді, коли коло, яке утворює кожну з пасток, розірване по довжині на 1/ 3 у тій її частині, яка прилягає до жалюзі в її кінцевій точці.

Проведені порівняльні дослідження запропонованого апарата та прототипу (таблиця 4), довели переваги першого. Експериментальний пил – кварцовий пісок з медіанним діаметром  $32 \cdot 10^{-6}$  м.



Як видно з таблиці 4, запропонований пиловловлювач має ефективність роботи на 1-2 % вищу за прототип, забезпечуючи при цьому зниження гідравлічного опору, що пояснюється наявністю в запропонованому апараті третього та четвертого - мокрого ступенів очищення.

Таблиця 4

Витрати повітря, м <sup>3</sup> /год.	Ефективність пиловловлювача, %		Гідравлічний опір, Па	
	Запропонованого апарата	Прототипу	Запропонованого апарата	Прототипу
1000	97,2	96,0	93	120
1500	97,7	96,8	105	140
2000	98,6	97,2	117	150
2500	98,9	97,9	133	155
3000	99,2	98,8	139	160

У даний час проводиться виготовлення запропонованого пиловловлювача для випробування його в системі очистки повітря на дослідно-промисловій установці коксохімії.

#### Список літератури

1. Батлук В.А., Проскуріна І.В. Решение современных проблем очистки воздуха в коксохимическом производстве// Сборник научных трудов Донбасского государственного технического университета; выпуск 24, - Алчевск, 2007 год, с. 156 – 162.
2. Батлук В.А., Проскуріна І.В., Василів Р.В. Принципово нові перспективні методи очистки повітря від дрібнодисперсного пилу// Наукові вісті, спеціальний випуск матеріалів ІV міжнародної науково-технічної конференції «Еколого-економічні проблеми карпатського єврорегіону» ЕЕП КС-2007, Івано-Франківськ, стор.21-25.
3. Батлук В.А., Проскуріна І.В., Романцов Е.В, Шелюх Ю.Є. Принципово нові перспективні методи очистки повітря від дрібнодисперсного пилу//Вестник Харьковского національного автомобильно-дорожного университета, сборник научных трудов, выпуск 38, Харків,2007 рік, с.212-216.