

АНАЛІТИЧНІ ДОСЛІДЖЕННЯ ПРОЦЕСУ РОБОТИ ЦИКЛОНА ПИЛОСОСА

Стаття присвячена вдосконаленню побутового пирососа шляхом введення в конструкцію циклонного пристрою для відділення пилу. Об'єктом дослідження є відділення пилу від повітряного потоку в пристроях вихрового типу. Метою дослідження є вивчення можливості збільшення ефективності відділення пилу від потоку повітря у побутових пирососах з циклонними пристроями. Завдання цієї роботи – визначити аналітичним способом геометричні та технологічні параметри циклонного пристрою для збору пилу, який може бути успішно використаний у побутовому пирососі з його відомими характеристиками. Була створена математична модель циклонного побутового приладу, що дозволяє визначити співвідношення геометричних та технологічних параметрів, за яких частинки пилу будуть гарантовано, 100%, відокремлені від потоку повітря. У статті також розраховані конструктивні параметри циклону для пирососа, що відповідає його технічним характеристикам. У роботі теоретично обґрунтовано вибір конструктивних і технологічних параметрів циклонних пристроїв для побутових пирососів. Проведено аналіз впливу на процес відділення пилу коливань витрат вхідного потоку, що може відбуватись в результаті використання різних насадок, заповнення циклонного пристрою сміттям, а також при регулюванні швидкості електродвигуна агрегату. З графіків, наведених у статті, можна побачити, що при коливанні продуктивності агрегату пирососа в межах $350 \times 10^{-4} \pm 150 \times 10^{-4} \text{ м}^3/\text{с}$ критичний діаметр часток матеріалів змінюється незначно ($\pm 30\%$), отже коливання і зміни продуктивності не будуть негативно впливати на роботу очисного пристрою. Результати досліджень можуть бути використані для розробки побутових пирососів.

Ключові слова: пиросос, повітряний потік, пил, циклон, математична модель, технологічні параметри, конструкція.

V.P. MISYATS

Kyiv National University of Technologies and Design

O.G. TYMOSHCHUK, O.O. KOROTYCH, S.I. PUNDYK

Khmelnitskiy National University

THE ANALYTICAL STUDY OF THE WORK PROCESS A CYCLONE IN A VACUUM CLEANER

The article is devoted to the improvement of the household vacuum cleaner by introducing into the construction of a cyclone device for the separation of dust. The object of study is the separation of dust from the air flow in devices of vortex type. The aim of the study is to study the possibility of increasing the efficiency of separation of dust from the air flow in household vacuum cleaners with cyclone devices. The task of this work is to determine the analytical way of geometric and technological parameters of the cyclone device for dust collection, which can be successfully used in a household vacuum cleaner with its known characteristics. In this work was been created a mathematical model of a cyclone household device, which allows to determine the ratio of geometric and technological factors, at which dust particles will be guaranteed, 100% separated from the air flow. In this article also the design parameters of the cyclone for the vacuum cleaner have been calculated, which is consistent with its technical characteristics. In the work, the choice of constructive and technological parameters of cyclone devices for household vacuum cleaners is theoretically justified. The analysis of the impact on the process of separation of dust flow rate fluctuations, which can occur as a result of the use of various nozzles, filling the cyclone device with garbage, as well as when regulating the speed of the electric motor unit. From the graphs given in the article, it can be seen that when the vacuum generator unit fluctuates within $350 \times 10^{-4} \pm 150 \times 10^{-4} \text{ м}^3/\text{с}$, the critical diameter often changes slightly ($\pm 30\%$), hence fluctuations and changes in productivity will not be adversely affect the operation of the cleaning device. The research results can be used to design household vacuum cleaners.

Key words: vacuum cleaner, air flow, dust, cyclone, mathematical model, technological parameters, construction

Вступ

Сьогодні на світовому ринку конкурують три типи побутових пирососів, які різняться системами відділення пилу від повітряного потоку:

- пирососи з класичним фільтром бар'єрного типу (тканина, папір та т.п.);
- пирососи з водяним фільтром (аквафільтри);
- пирососи з фільтрами циклонного типу.

Теоретичному дослідженню останніх присвячена дана робота.

Постановка проблеми

Завданням даної роботи є визначення аналітичним шляхом геометричних і технологічних параметрів циклонного пристрою для вловлювання пилу, який може бути успішно використаний в побутовому пирососі при відомих його характеристиках.

Об'єктом дослідження є процеси відділення пилу від повітряного потоку в пристроях вихрового типу. Предметом дослідження є циклонний пристрій для побутового пирососа. Метою дослідження є вивчення можливості підвищення ефективності відділення пилу від повітряного потоку в побутових пирососах з циклонними пристроями.

Методологічною і теоретичною основою дослідження служать основні положення теоретичної механіки та гідравліки.

Результати досліджень

На рис. 1 представлена схема руху повітряного потоку в циклонному пристрої пирососа. Забруднене пилом повітря втягується в патрубок 9 циклонного пристрою за рахунок різниці тисків зовні і в камері всмоктувального агрегату (розрідження в вихідному патрубку 1). Повітря рухається в профільованому каналі, який сформований внутрішньою поверхнею головного циліндра 6, зовнішньою поверхнею центральної труби 7 і гвинтовою перегородкою 8 між поверхнями циліндрів 6 і 7.

Завдяки формі каналу, повітряний потік рухається вгору зі швидкістю V_g і по колу з кутовою швидкістю W . Співвідношення величин V_g і W залежить від діаметрів циліндрів 6 і 7, кута нахилу

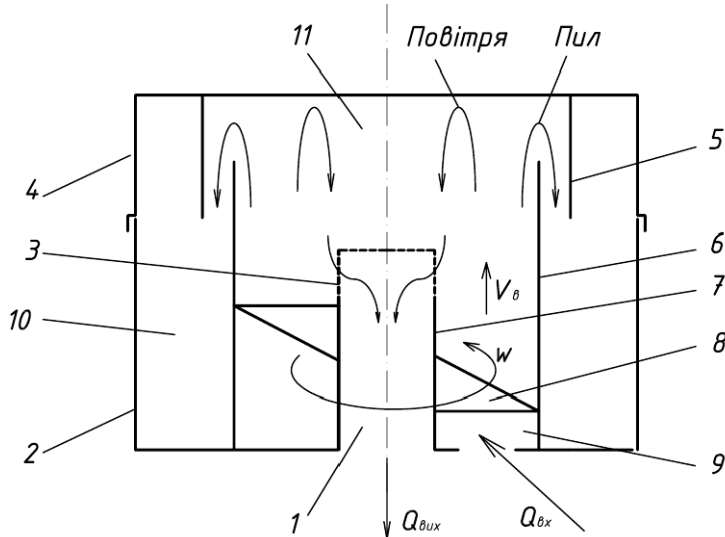


Рис. 1. Схема руху повітряного потоку в циклонному пристрої пирососа:

1 – вихідний патрубок; 2 – зовнішній корпус; 3 – решітка; 4 – кришка; 5 – екран; 6 – головний циліндр; 7 – центральна труба; 8 – гвинтова перегородка; 9 – вхідний патрубок; $Q_{вх}$ – витрати вхідного потоку

забрудненого повітря; $Q_{вих}$ – витрати вихідного потоку очищеного повітря;

W – кутова швидкість обертання повітряного потоку; V_g – лінійна швидкість вертикального переміщення повітряного потоку

гвинтової перегородки, продуктивності повітряного потоку і його властивостей.

В результаті кругового руху, на молекули повітря і на частинки пилу діє відцентрова сила, направлена в радіальному напрямку від центру обертання. Під дією цієї сили частинки пилу концентруються біля внутрішньої поверхні головного циліндру і їх кінетична енергія частково витрачається на тертя об цю поверхню.

По досягненні спіралеподібним потоком верхньої границі головного циліндру, він прискорюється в радіальному напрямку і частинки пилу рухаються в напрямку циліндричної перегородки 5, що знаходиться на кришці 4. При цьому можна умовно сказати, що "момент інерції" повітряного потоку збільшується в результаті збільшення його діаметру. Залишкова кінетична енергія потоку на момент досягнення границі центрального циліндру на проміжку від 6 до 5 не змінюється, а значить будуть зменшуватись всі складові швидкості в результаті збільшення "моменту інерції". В

результаті пил і повітря рухаються до перегородки 5 з меншою швидкістю.

При досягненні частками пилу і повітрям перегородки 5 відбувається їх удар об неї і напрямком складових лінійних швидкостей змінюється. Напрямок векторів швидкостей після удару залежить від їх напрямку до удару, але в радіальному напрямку частки і повітря по любому починають рухатись до центру обертання.

На зворотному шляху частинок пилу від перегородки 5 до центру циклону вони стикаються з зустрічним потоком і їх швидкість остаточно зменшується. В результаті дії на пил сили тяжіння вони рухаються по параболі донизу і по досягненні границі головного циліндру, вони опиняються вже нижче його верхнього зрізу. Відбувається удар частинок об зовнішню поверхню головного циліндру 6, їх енергія, а відповідно і швидкість ще зменшується, та знову змінює напрямок на протилежний. Так відбувається до тих пір, доки частинки пилу не "заспокоюються" на дні зовнішнього корпусу 2.

Оскільки тиск в порожнинах 10 і 11 рівний, то руху повітря в нижній зоні майже не буде (тільки за рахунок його залишкової кінетичної енергії) і осаджений пил не буде підніматись з dna повітряним потоком. Частинки пилу після потрапляння в циклон рухаються в каналі, який утворений внутрішньою бічною поверхнею циліндричного корпусу 6 (рис. 1) і зовнішньою поверхнею труби 7. Будемо вважати, що частинки пилу мають масу m_q і форму кулі діаметром d_q . Повітря надходить в циклон з постійними витратами $Q_{вх}$.

В каналі з гвинтоподібною перегородкою потік повітря буде мати складний рух:

- по вертикалі, зі швидкістю, що залежить від площі поперечного перетину каналу і витрати $Q_{вх}$;
- по колу відносно центру симетрії каналу, з кутовою швидкістю, що залежить від кута нахилу гвинтової лінії перегородки в каналі.

Залежності між лінійною швидкістю руху потоку догори пристрою V_g і кутовою швидкістю обертання потоку визначимо з векторної діаграми швидкостей, яка представлена на рис. 2.

Згідно з представленою на рис. 2. діаграмою, частинка має складний рух, траєкторія якого визначається миттєвими співвідношенням швидкостей V_g , $V_{кол}$ і V_p . Швидкість руху частинки пилу в радіальному напрямі обумовлена дією на неї відцентрової сили в результаті обертання.

З векторної діаграми на рис. 2 можна записати:

$$V_{кол} = V_e \cdot (1 - tg\alpha). \quad (1)$$

Кутова швидкість руху потоку:

$$\omega = \frac{V_{кол}}{r}, \quad (2)$$

де r – радіус обертання потоку.

Підставляємо (1) в (2) і отримуємо:

$$\omega = \frac{V_a \cdot (1 - tg\alpha)}{r}. \quad (3)$$

Визначимо відцентрову силу, що діє на частки повітряного потоку в каналі циклонного пристрою. Лінійна швидкість руху повітряного потоку по колу залежить від кута нахилу потоку до вертикальної осі, який залежить від нахилу гвинтової лінії перегородки. При цьому, швидкість руху в напрямку осі не змінюється, а збільшується шлях руху потоку в результаті його відхилення від вертикалі. Цим якраз обумовлено зростання очисної здатності циклонів і гідравлічних втрат, при збільшенні кута відхилення потоку від вертикалі.

Відцентрове прискорення, з яким рухається потік в циклоні:

$$a_e = \frac{V_{кол}^2}{r}. \quad (4)$$

З урахуванням (1) вираз (4) перепишемо у вигляді:

$$a_e = \frac{(V_a \cdot (1 - tg\alpha))^2}{r}. \quad (5)$$

Відцентрова сила, що діє на частки повітряного потоку в каналі циклонного пристрою:

$$F_e = m_q \cdot a_e, \quad (6)$$

де m_q – маса частинки в повітряному потоці.

Підставляємо (5) в (6) і отримуємо:

$$F_e = \frac{m_q \cdot (V_a \cdot (1 - tg\alpha))^2}{r}. \quad (7)$$

Оскільки частинка пилу рухається в повітрі, то на неї діє сила опору, яка залежить від розмірів частинки, її швидкості і в'язкості повітря.

Силу опору середовища визначаємо з формули Стокса [1]:

$$F_{он} = 3 \cdot \pi \cdot V_p \cdot d_q \cdot \mu_{нов}, \quad (8)$$

де V_p – швидкість руху частинки в радіальному напрямі в результаті дії на неї відцентрової сили; d_q – діаметр частинки; $\mu_{нов}$ – динамічна в'язкість повітря.

Якщо частинка має форму кулі, то її маса може бути визначена за формулою:

$$m_q = \frac{\pi \cdot d_q^3 \cdot \rho_q}{6}, \quad (9)$$

де ρ_q – густина матеріалу частинки.

Після входу запиленого потоку в циклон сили $F_{он}$ і F_e урівноважуються, тобто $F_{он} = F_e$. Враховуючи (7) і (8) умова рівноваги має вигляд:

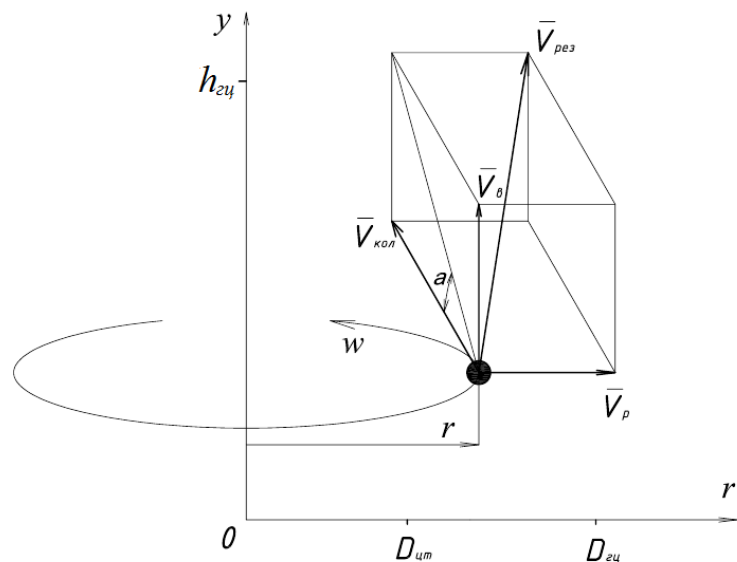


Рис. 2. Векторна діаграма швидкостей руху повітряного потоку в циклонному пристрої: y – напрямок вертикалі циклонного пристрою; $h_{ц}$ – висота циліндру; \bar{V}_e – швидкість частинки в напрямку вертикалі; $\bar{V}_{кол}$ – швидкість руху частинки по колу; \bar{V}_p – швидкість руху частинки в радіальному напрямку; $\bar{V}_{рез}$ – результуючий вектор швидкості руху частинки в каналі циклону; α – кут підйому гвинтової лінії перегородки; r – координата радіусу обертання частинки; $D_{цч}$ – діаметр циліндру; $D_{цт}$ – діаметр центральної труби; ω – кутова швидкість обертання повітряного потоку

$$3 \cdot \pi \cdot V_{\delta} \cdot d_{\pm} \cdot \mu_{\text{r}\ddot{\text{a}}} = \frac{m_{\pm} \cdot (V_{\dot{\text{a}}} \cdot (1 - \text{tg}\alpha))^2}{r}. \quad (10)$$

Рівновага сил F_{on} і F_{e} означає, що частинка рухається в радіальному напрямі з постійною швидкістю V_p , яку можна визначити з рівняння рівноваги (10):

$$V_{\delta} = \frac{m_{\pm} \cdot (V_{\dot{\text{a}}} \cdot (1 - \text{tg}\alpha))^2}{3 \cdot \pi \cdot d_{\pm} \cdot \mu_{\text{r}\ddot{\text{a}}} \cdot r}. \quad (11)$$

З урахуванням (9), отримуємо:

$$V_{\delta} = \frac{d_{\pm}^2 \rho_{\pm} \cdot (V_{\dot{\text{a}}} \cdot (1 - \text{tg}\alpha))^2}{18 \cdot \mu_{\text{r}\ddot{\text{a}}} \cdot r}. \quad (12)$$

З частинок пилу, що рухаються в потоці, найбільший шлях до моменту контакту з поверхнею головного циліндру (рис. 2) пройде частинка, яка при вході в циклон знаходилася поблизу центральної труби, тобто мала початкову координату D_{um} (рис. 2). Її шлях в радіальному напрямі r рівний $(D_{\text{cy}} - D_{\text{um}})/2$. Час для проходження цього шляху:

$$\tau_{\text{rad}} = \frac{(D_{\text{cy}} - D_{\text{um}})}{2 \cdot V_p}. \quad (13)$$

Підставимо в формулу (13) значення V_p з формули (12), отримаємо вираз для часу руху частинки в радіальному напрямі:

$$\tau_{\text{rad}} = \frac{9(D_{\ddot{\text{a}}} - D_{\ddot{\text{o}}}) \cdot \mu_{\text{r}\ddot{\text{a}}} \cdot r}{\rho_{\pm} \cdot d_{\pm}^2 \cdot (V_{\dot{\text{a}}} \cdot (1 - \text{tg}\alpha))^2}. \quad (14)$$

Час руху частинки в вертикальному напрямку залежить від висоти циліндру h_{cy} . Якщо вважати, що швидкість руху V_{e} постійна по висоті каналу, то час руху в вертикальному напрямі:

$$\tau_{\text{vert}} = \frac{h_{\text{cy}}}{V_{\text{e}}}. \quad (15)$$

При виконанні умови $\tau_{\text{vert}} = \tau_{\text{rad}}$, всі частинки (включаючи ті, що були біля центральної труби) гарантовано будуть локалізовані на внутрішній поверхні головного циліндру і готові до виходу за його межі в напрямку перегородки кришки і далі в порожнину зовнішнього корпусу (рис. 1). Запишемо умову $\tau_{\text{vert}} = \tau_{\text{rad}}$ з врахуванням (14) і (15):

$$\frac{h_{\ddot{\text{a}}}}{V_{\dot{\text{a}}}} = \frac{9(D_{\ddot{\text{a}}} - D_{\ddot{\text{o}}}) \cdot \mu_{\text{r}\ddot{\text{a}}} \cdot r}{\rho_{\pm} \cdot d_{\pm}^2 \cdot (V_{\dot{\text{a}}} \cdot (1 - \text{tg}\alpha))^2}. \quad (16)$$

Радіус руху часток r (рис. 2) лінійно збільшується від нуля, при $r(0) = D_{\text{um}}/2$ до $r = D_{\text{cy}}/2$, тому можна його прийняти рівним:

$$r = \frac{D_{\text{cy}} - D_{\text{um}}}{4}. \quad (17)$$

Тоді, з врахуванням (17), умова (16) приймає вигляд:

$$\frac{9 \cdot (D_{\ddot{\text{a}}} - D_{\ddot{\text{o}}})^2 \cdot \mu_{\text{r}\ddot{\text{a}}}}{4 \cdot h_{\ddot{\text{a}}} \cdot \rho_{\pm} \cdot d_{\pm}^2 \cdot V_{\dot{\text{a}}} \cdot (1 - \text{tg}\alpha)^2} = 1. \quad (18)$$

Визначимо залежність швидкості V_{e} від витрат повітря Q і геометричних параметрів циклонного пристрою. Для потоку, що рухається в каналі з постійним перетином:

$$V_{\text{e}} = \frac{Q_{\text{ex}}}{S_{\text{ци}}}, \quad (19)$$

де $S_{\text{ци}}$ – площа поперечного перетину каналу.

Для пристрою "труба в трубі", яким є канал в нижній частині нашого пристрою площу перетину

можна визначити за формулою:

$$S_{ци} = \frac{\pi}{4} (D_{ци}^2 - D_{мп}^2). \quad (20)$$

Тоді (19), з урахуванням (20):

$$V_{\epsilon} = \frac{4Q_{ex}}{\pi (D_{ци}^2 - D_{мп}^2)}. \quad (21)$$

Підставляємо (21) в (18) і остаточно отримуємо умову:

$$\frac{9 \cdot \pi (D_{\bar{a}\bar{a}}^2 - D_{\bar{o}\bar{o}}^2) (D_{\bar{a}\bar{a}} - D_{\bar{o}\bar{o}})^2 \cdot \mu_{\bar{r}\bar{i}\bar{a}}}{16 \cdot h_{\bar{a}\bar{a}} \cdot \rho_{\bar{+}} \cdot d_{\bar{+}}^2 \cdot Q_{\bar{a}\bar{a}} \cdot (1 - \operatorname{tg} \alpha)^2} = 1. \quad (22)$$

Отримана нами формула (22) представляє собою математичну модель нашого циклонного пристрою, що дозволяє визначати співвідношення геометричних і технологічних чинників, при якому частинки пилу будуть гарантовано, на 100%, відділені від повітряного потоку.

Визначальним параметром ефективності процесу очищення повітря в циклонах є оптимальне значення лінійної швидкості повітряного потоку в каналі. Для промислових циклонів значення оптимальної швидкості потоку повітря при нормальних умовах за довідниковими даними становить 3,5...4,5 м/с.

Площу перетину каналу циклону, при умові оптимальної швидкості повітря визначимо за формулою:

$$S_{ч} = \frac{Q_{ex}}{V_{opt}}, \quad (23)$$

Оскільки діаметр нашого пристрою на порядок менше діаметру промислових циклонів, то для розрахунків, приймаємо більше значення оптимальної швидкості.

$$S_{ч} = \frac{350 \cdot 10^{-4}}{4,5} = 78 \cdot 10^{-4} \text{ м}^2.$$

З врахуванням (20) отримуємо:

$$D_{ци} = \sqrt{\frac{4}{\pi} S_{ч} + D_{мп}^2} \quad (24)$$

Діаметр трубопроводу приймаємо рівним діаметру основного повітряного каналу пирососа (шланг, трубопроводи), який становить 40 мм. Тоді діаметр циліндру:

$$D_{ци} = \sqrt{\frac{4}{3,14} 78 \cdot 10^{-4} + 0,04^2} = 0,107 \text{ м}.$$

Для верхньої частини пристрою, де повітря рухається в трубі діаметром $D_{ци}$:

$$S_{ч6} = \frac{\pi}{4} D_{ци}^2. \quad (25)$$

З формули (25) отримуємо:

$$D_{ци} = 2 \sqrt{\frac{S_{ч6}}{\pi}}, \quad (26)$$

Тоді діаметр циліндру в верхній частині:

$$D_{ци} = 2 \sqrt{\frac{78 \cdot 10^{-4}}{3,14}} = 0,0997 \text{ м}.$$

Приймаємо діаметр циліндру 100 мм.

Тоді уточнене значення швидкості потоку в каналі нижньої частини пристрою:

$$V_{нк} = \frac{4Q}{\pi (D_{ци}^2 - D_{мп}^2)}; \quad (27)$$

$$V_{нк} = \frac{4 \cdot 350 \cdot 10^{-4}}{3,14 (0,1^2 - 0,04^2)} = 5,3 \text{ м/с}.$$

Швидкість потоку в каналі верхньої частини пристрою:

$$V_{вк} = \frac{4 \cdot 350 \cdot 10^{-4}}{3,14 \cdot 0,1^2} = 4,46 \text{ м/с}.$$

Для визначення значення кута α проведемо аналіз його впливу на процес відділення пилу за допомогою отриманої математичної моделі.

Для розрахунку нашого циклону потрібні наступні дані: витрати повітря $Q_{\text{вх}}$, м³/с; густина часток пилу $\rho_{\text{ч}}$, кг/м³; динамічна в'язкість повітря при робочій температурі μ_r , Па·с. Густина повітря при 20°C 1,204 кг/м³; динамічна в'язкість повітря при $1,82 \cdot 10^{-5}$ (Н·с/м²); густина часток пилу різних матеріалів: скло, пісок – $\rho_{\text{ч}} = 2,5 \cdot 10^3$ кг/м³; пластмаса – $\rho_{\text{ч}} = 0,8 \dots 1,2 \cdot 10^3$ кг/м³; вугілля – $\rho_{\text{ч}} = 1,4 \cdot 10^3$ кг/м³; деревина – $\rho_{\text{ч}} = 0,5 \cdot 10^3$ кг/м³; бавовна (волокно) – $\rho_{\text{ч}} = 1,2$ кг/м³.

З формули (20) отримуємо вираз для визначення критичного діаметру часток пилу залежно від змінних чинників:

$$d_{\text{ч, min}} = \frac{3}{4} \frac{(D_{\text{вв}} - D_{\text{од}})}{1 - \text{tg} \alpha} \sqrt{\frac{\pi (D_{\text{вв}}^2 - D_{\text{од}}^2) \cdot \mu_{\text{вв}}}{\rho_{\text{ч}} \cdot h_{\text{вв}} \cdot Q_{\text{вв}}}} \quad (28)$$

Підставляємо в (28) відомі значення чинників і отримуємо формулу:

$$d_{\text{ч}}(\alpha) = \frac{3}{4} \frac{(0,1 - 0,04)}{1 - \text{tg} \alpha} \sqrt{\frac{3,14 (0,1^2 - 0,04^2) \cdot 1,82 \cdot 10^{-5}}{\rho_{\text{ч}} \cdot 0,115 \cdot 350 \cdot 10^{-4}}} = \frac{4,9 \cdot 10^{-4}}{1 - \text{tg} \alpha} \sqrt{\frac{1}{\rho_{\text{ч}}}} \quad (29)$$

За виразом (29) побудовані графіки залежності діаметру часток матеріалів, що гарантовано відділяються циклоном від повітряного потоку, від кута нахилу гвинтової лінії перегородки, які представлені на рис. 3.

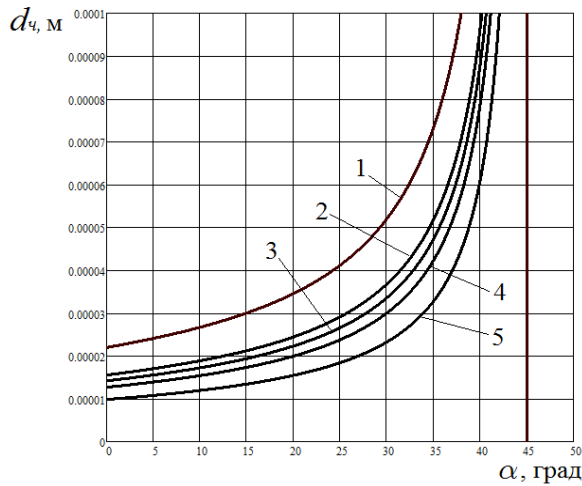


Рис. 3. Графіки залежності діаметру часток матеріалів, що гарантовано відділяються циклоном від повітряного потоку, від кута нахилу гвинтової лінії перегородки: 1 – деревина; 2 – пластмаса; 3 – волокна бавовни; 4 – вугілля; 5 – скло (пісок)

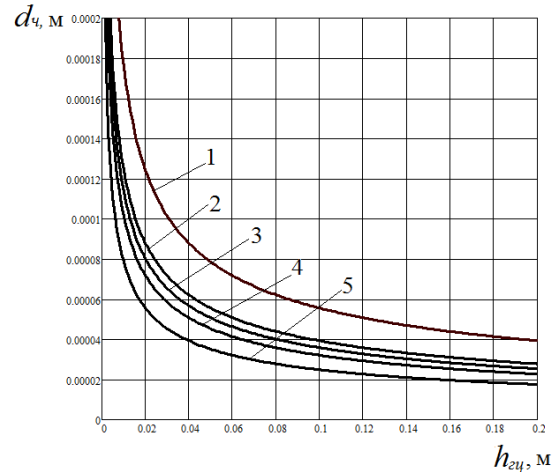


Рис. 4. Графіки залежності діаметру часток матеріалів, що гарантовано відділяються циклоном, від висоти головного циліндра при значенні кута нахилу гвинтової лінії перегородки $\alpha = 30^\circ$: 1 – деревина; 2 – пластмаса; 3 – волокна бавовни; 4 – вугілля; 5 – скло (пісок)

З графіків на рис. 3. видно, що здатність відділення пилу зменшується, при збільшенні кута підйому гвинтової лінії і стає "нульовою" при $\alpha = 45^\circ$. З точок перетину графіками вісі ординат можна визначити найменший діаметр часток матеріалів, які теоретично можуть відділятися від повітряного потоку, при нульовій продуктивності циклонного пристрою ($\alpha = 0^\circ$). Зі зменшенням кута α збільшується гідравлічний опір циклонного пристрою, тому потрібно вибирати значення кута підйому гвинтової лінії перегородки, якому відповідає задовільне відділення пилу. Приймаємо $\alpha = 30^\circ$.

Проведемо аналіз впливу висоти головного циліндру $h_{\text{цл}}$ на процес відділення пилу за допомогою отриманої математичної моделі. З формули (22) отримуємо вираз для визначення критичного діаметру часток пилу залежно від висоти головного циліндру $h_{\text{цл}}$:

$$d_{\text{ч}}(h_{\text{вв}}) = \frac{3}{4} \frac{(0,1 - 0,04)}{1 - \text{tg} 30} \sqrt{\frac{3,14 (0,1^2 - 0,04^2) \cdot 1,82 \cdot 10^{-5}}{\rho_{\text{ч}} \cdot 0,115 \cdot 350 \cdot 10^{-4}}} = 3,93 \cdot 10^{-4} \sqrt{\frac{1}{\rho_{\text{ч}} \cdot h_{\text{вв}}}} \quad (30)$$

За виразом (30) побудовані графіки залежності діаметру часток матеріалів, що гарантовано відділяються циклоном від висоти головного циліндра, які представлені на рис. 4.

З графіків видно, що збільшення $h_{\text{цл}}$ веде до зменшення діаметру часток, що на 100% будуть відділені від потоку. Але градієнт цього зменшення різко зменшується, при $h_{\text{цл}} > 0,04 \dots 0,06$ м. Тому

прийнята нами висота $h_{\text{ци}} = 0,115$ м, що обумовлена обмеженням висоти пиłosоса є дуже навіть достатньою. Тобто робити пиłosос високим за рахунок висоти циклону немає сенсу.

Проведемо аналіз впливу діаметру головного циліндру $h_{\text{ци}}$ на процес відділення пилу за допомогою отриманої математичної моделі.

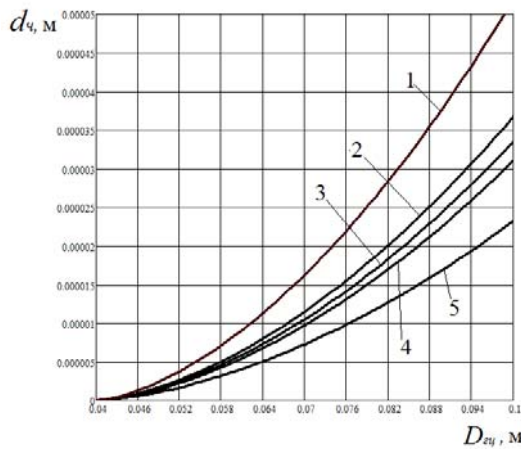


Рис. 5. Графіки залежності діаметру часток матеріалів, що гарантовано відділяються циклоном, від діаметру головного циліндру при значенні кута нахилу гвинтової лінії перегородки $\alpha = 30^\circ$: 1 – деревина; 2 – пластмаса; 3 – волокна бавовни; 4 – вугілля; 5 – скло (пісок)

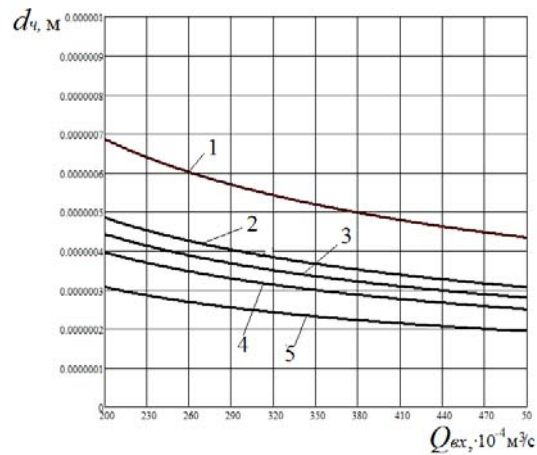


Рис. 6. Графіки залежності діаметру часток матеріалів, що гарантовано відділяються циклоном, від витрат повітряного потоку, при значенні кута нахилу гвинтової лінії перегородки $\alpha = 30^\circ$: 1 – деревина; 2 – пластмаса; 3 – волокна бавовни; 4 – вугілля; 5 – скло (пісок)

З формули (22) отримуємо вираз для визначення критичного діаметру часток пилу в залежності від діаметру головного циліндру $D_{\text{ци}}$:

$$d_{\pm}(D_{\text{ци}}) = \frac{3(D_{\text{ци}} - 0,04)}{4(1 - \text{tg}30)} \sqrt{\frac{3,14(D_{\text{ци}}^2 - 0,04^2) \cdot 1,82 \cdot 10^{-5}}{\rho_{\pm} \cdot 0,115 \cdot 350 \cdot 10^{-4}}} = 0,211 \cdot (D_{\text{ци}} - 0,04) \sqrt{\frac{(D_{\text{ци}}^2 - 0,0016)}{\rho_{\pm}}}. \quad (31)$$

За виразом (31) побудовані графіки залежності діаметру часток матеріалів, що гарантовано відділяються циклоном, від діаметру головного циліндру, які представлені на рис. 5.

Висновки

З графіків на рис. 5 видно, що при розрахованому нами діаметрі циліндру 0,1 м гарантовано відділяються від повітряного потоку частки всіх матеріалів, що мають діаметр 20 мкм.

Проведемо аналіз впливу на процес відділення пилу коливань витрат вхідного потоку, що може відбуватись в результаті використання різних насадок, заповнення циклонного пристрою сміттям, а також при регулюванні швидкості електродвигуна агрегату.

З формули(22) отримуємо вираз для визначення критичного діаметру часток пилу залежно від $Q_{\text{вх}}$:

$$d_{\pm}(Q_{\text{вх}}) = \frac{3(0,1 - 0,04)}{4(1 - \text{tg}30)} \sqrt{\frac{3,14(0,1^2 - 0,04^2) \cdot 1,82 \cdot 10^{-5}}{\rho_{\pm} \cdot 0,115 \cdot Q_{\text{вх}}}} = 2,17 \cdot 10^{-4} \sqrt{\frac{1}{\rho_{\pm} \cdot Q_{\text{вх}}}}. \quad (32)$$

За виразом (32) побудовані графіки залежності діаметру часток матеріалів, що гарантовано відділяються циклоном від діаметру головного циліндру, які представлені на рис. 6.

З графіків на рис. 6 видно, що при коливанні продуктивності агрегату пиłosоса в межах $350 \times 10^{-4} \pm 150 \times 10^{-4}$ м³/с критичний діаметр часток матеріалів змінюється незначно ($\pm 30\%$), отже коливання і зміни продуктивності не будуть негативно впливати на роботу очисного пристрою.

Література

1. Зиганшин М.Г. Проектирование аппаратов пылегазоочистки / М.Г. Зиганшин, А.А.Колесник, В.Н. Посохин. – М. : «Экопресс – 3М», 1998. – 445 с.

References

1. Ziganshin M.G. Proektirovanie apparatov pyilegazoochistki / M.G. Ziganshin, A.A.Kolesnik, V.N. Posohin. – М. : «Ekopress – 3M», 1998. – 445 s.