

Для підвищення ефективності технологічних процесів столярних виробів, стабільності технологічних операцій необхідно враховувати чинники, що діють на верстати, потоки і автоматичні лінії (параметри заготовок і матеріалу, кількість і характер відмов обладнання, несинхронність роботи окремих вузлів, переповнення нагромаджувачів, накладені втрати робочого часу, і т. ін.).

Література

1. Билей П.В. Сушка древесины твердолиственных пород / П.В. Билей. – М. : Изд-во "Экология", 2002. – 222 с.
2. Дудюк Д.Л. Імітаційне моделювання гнучких автоматизованих ліній у лісовиробничому комплексі / Д.Л. Дудюк, В.М. Максимів, Л.Я. Сорока та ін. – К. : Вид-во ІСДО, 1996. – 139 с.
3. Білей П.В. Методологія наукових досліджень технологічних процесів деревообробки / П.В. Білей, М.Г. Адамовський, Л.Я. Сорока та ін. – Львів : Вид-во "Панорама", 2003. – 184 с.
4. Іванишин Т.В. Підвищення стабільності інтервалів випуску за рахунок технічного вдосконалення деревообробного обладнання / Т.В. Іванишин // Науковий вісник УкрДЛТУ : зб. наук.-техн. праць. – Львів : Вид-во УкрДЛТУ. – 1997. – Вип. 6. – С. 94-98.

Сорока Л.Я. Повышение стабильности технологических операций в столярном производстве

Рассмотрен вопрос повышения стабильности технологических операций. Для повышения эффективности технологических процессов столярных изделий, стабильности технологических операций необходимо учитывать факторы, которые действуют на станки, потоки и автоматические линии (параметры заготовок и материала, количество и характер отказов оборудования, несинхронность работы отдельных узлов, переполнение накопителей, потери рабочего времени, и так далее).

Soroka L.Ya. Increasing of technological operations stability in wood-working

Considered questions of stability rise of technological operations. Для підвищення ефективності технологічних процесів столярних виробів, стабільності технологічних операцій необхідно враховувати фактори, що діють на верстати, потоки і автоматичні лінії (параметри заготовок і матеріалу, кількість і характер відмов обладнання, несинхронність роботи окремих вузлів, переповнення накопичувачів, накладені втрати робочою часу, і т.д.).

УДК 674: 621.928.93

Доц. Л.О. Тисовський¹, канд. фіз.-мат. наук;
викл. А.В. Ляшеник², канд. техн. наук; викл. Л.М. Дорундяк²;
ст. викл. Ю.Р. Дадак¹

ДЕЯКІ РЕЗУЛЬТАТИ МОДЕЛЮВАННЯ РУХУ ДВОФАЗОВОГО ПОТОКУ ПОВІТРЯ У ЦИКЛОНАХ

Побудовано математичну модель руху запиленого повітря, що містить окремі тверді частинки (відходи виробництва), і на її основі здійснено числовий аналіз задачі про сепарацію двофазового потоку в циклоні. Описано аеродинамічні процеси в сепараторі, які можуть бути використані для дослідження нових конструкцій пиловловлювачів та вивчення впливу геометричних розмірів окремих елементів на процес очищення повітряного потоку від пилу деревини.

¹ НЛТУ України, м. Львів

² Коломийський політехнічний коледж

У працях [1, 2] автори здійснили постановку задачі про рух пилоповітряного потоку в циклонних сепараторах та виконали її числовий аналіз для циклона марки СКЦН-40. Задачу про рух частинки пилу в криволінійному потоці розглянуто в роботі [3].

У цьому дослідженні зроблено спробу описати рух двофазного потоку в циклоні та проаналізувати деякі з отриманих результатів.

Представимо тепер потік запиленого повітря, що подається на вхід циклона як двофазну суміш, що складається із суміші несучої фази (повітря) та пилу деревини. Припустимо при цьому, що всі частинки мають однаковий розмір, форму та масу. Взаємодією частинок між собою, а також впливом на них броунівського руху нехтуємо. Об'ємна концентрація частинок вважається малою. Припускаємо також, що зміна температури та тиску основної фази не впливає на зміну форми і розмірів твердої частинки, а також немає фазових перетворень (горіння частинки пилу).

Зазначимо, що введені припущення значно спрощують постановку задачі, проте, зазвичай не суперечать умовам роботи деревообробного устаткування. З огляду на зазначене, повну систему рівнянь для цього випадку у векторному вигляді можна представити так (для несучої фази позначимо індексом 1):

1. Рівняння Нав'є-Стокса (рівняння руху)

$$\rho^{(1)} \frac{d\vec{V}^{(1)}}{dt} = \rho^{(1)} \vec{F}^{(1)} - \text{grad}(p + \frac{2}{3} \mu \text{div} \vec{V}^{(1)}) + 2 \text{Div}(\mu \dot{S}). \quad (1)$$

2. Рівняння нерозривності, які є математичним записом закону збереження маси певного об'єму суцільного середовища

$$\frac{\partial \rho^{(1)}}{\partial t} + \text{div}(\rho^{(1)} \vec{V}^{(1)}) = 0. \quad (2)$$

3. Рівняння стану

$$p = \rho^{(1)} R T \quad (3)$$

$$\frac{\mu}{\mu_0} = \left(\frac{T}{T_0} \right)^n. \quad (4)$$

4. Рівняння балансу тепла

$$\rho^{(1)} \frac{d}{dt} \left(h + \frac{(V^{(1)})^2}{2} \right) = \rho^{(1)} \vec{F}^{(1)} \cdot \vec{V}^{(1)} + \frac{\partial p}{\partial t} + \text{div}(2\mu \vec{V}^{(1)} \dot{S} - \frac{2}{3} \mu \vec{V}^{(1)} \text{div} \vec{V}^{(1)} + \frac{\mu}{\sigma} \text{grad } h). \quad (5)$$

У співвідношеннях (1-5) прийнято такі позначення:

- $\vec{V}^{(1)}(u^{(1)}, v^{(1)}, w^{(1)})$ – вектор швидкості точки несучої фази з координатами x, y, z в момент часу t (змінні Ейлера); $\rho^{(1)} = \rho^{(1)}(x, y, z, t)$ – густина несучої фази в точці з координатами (x, y, z) в момент часу t .
- $\vec{F}^{(1)} = (F_x^{(1)}, F_y^{(1)}, F_z^{(1)})$ – вектор густини масової сили для повітря;
- $\text{div} \vec{V} = \frac{\partial u}{\partial x} + \frac{\partial v}{\partial y} + \frac{\partial w}{\partial z}$ – дивергенція вектора швидкості $\vec{V}$;
- $\text{grad } \varphi = (\frac{\partial \varphi}{\partial x}, \frac{\partial \varphi}{\partial y}, \frac{\partial \varphi}{\partial z})$ – градієнт скалярного поля функції φ .

- μ – динамічний коефіцієнт в'язкості;
- $\dot{S}$ – тензор швидкості деформацій;
- $\text{div}\hat{T}$ – дивергенція тензора $\hat{T}$;
- R – газова постійна;
- T_0, μ_0 – відповідно абсолютна температура і коефіцієнт в'язкості, що відповідають деякому початковому стану газу $n \in \left[\frac{1}{2}, 1\right]$ залежно від температури основної фази;
- h – ентальпія (теплова функція), $h = \int_0^T C_p(T) dT$; $\sigma = \frac{\mu C_p}{\lambda}$ – число Прандтля;
- C_p – коефіцієнт теплоємності за постійного тиску; λ – коефіцієнт теплопровідності газу.

Зважаючи на зазначені припущення, усі частинки другої фази перебувають в однакових умовах. Тому достатньо дослідити рух однієї з них. Кожна тверда частинка здійснює складний рух. При цьому рух разом із потоком повітря зі швидкістю $\vec{V}^{(1)}$ є переносним, а рух частинки всередині основної фази із швидкістю $\vec{V}$ є відносним, тобто абсолютна швидкість $\vec{V}^{(2)} = \vec{V}^{(1)} + \vec{V}$.

Таким чином, задача зводиться до визначення відносної швидкості руху $\vec{V}$ і диференціальне рівняння руху в цьому випадку набуває вигляду

$$m \frac{d\vec{V}}{dt} = \vec{F}, \quad (6)$$

де: m – маса твердої частинки; $\vec{F}$ – сили реакції повітря на тверду фазу, віднесені до одиниці об'єму, які визначають як активні сили так і сили інерції. Сила $\vec{F}$ залежить від умов роботи циклона.

Для того, щоб розв'язок отриманої системи диференціальних рівнянь був єдиним, потрібно задати початкові та граничні умови.

Під початковими умовами у цьому випадку розуміють задання в початковий момент часу поля швидкостей і температур і, крім цього, тиску в довільній точці циклона. Вважаємо, що в початковий момент часу швидкості обох фаз є однаковими.

Граничні умови визначаються формою та конструктивними розмірами циклона і для цієї задачі набувають вигляду:

- швидкість повітря на нерухомих твердих поверхнях циклона дорівнює нулю;
- вважаємо відомою швидкість набігаючого пилоповітряного потоку на вході в циклон у будь-який момент часу;
- відомий розподіл температур на поверхні циклона в початковий момент часу;
- між твердими частинками та поверхнею циклона має місце ідеальний удар.

Було здійснено числовий аналіз розв'язку задачі, результати якого наведено на рис. 2-6. Обчислення виконано за такими значеннями параметрів:

- геометричні розміри циклона (рис. 1);
- густина повітря $\bar{\rho}^{(1)} = 1,3 \text{ кг/м}^3$, густина твердої частинки $\bar{\rho}^{(2)} = 720 \text{ кг/м}^3$, початкова швидкість $v_0 = 20 \text{ м/с}$, температура $T_0 = 20^\circ\text{C}$, статичний тиск на виході з вихлопної труби циклона дорівнює атмосферному.

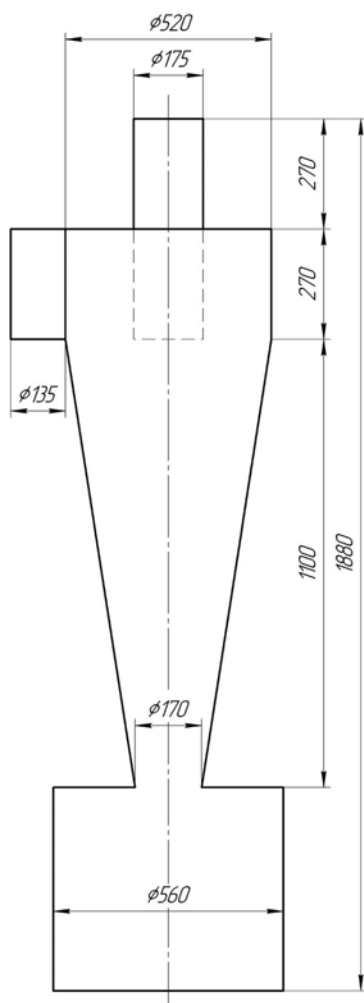


Рис. 1. Схема циклона

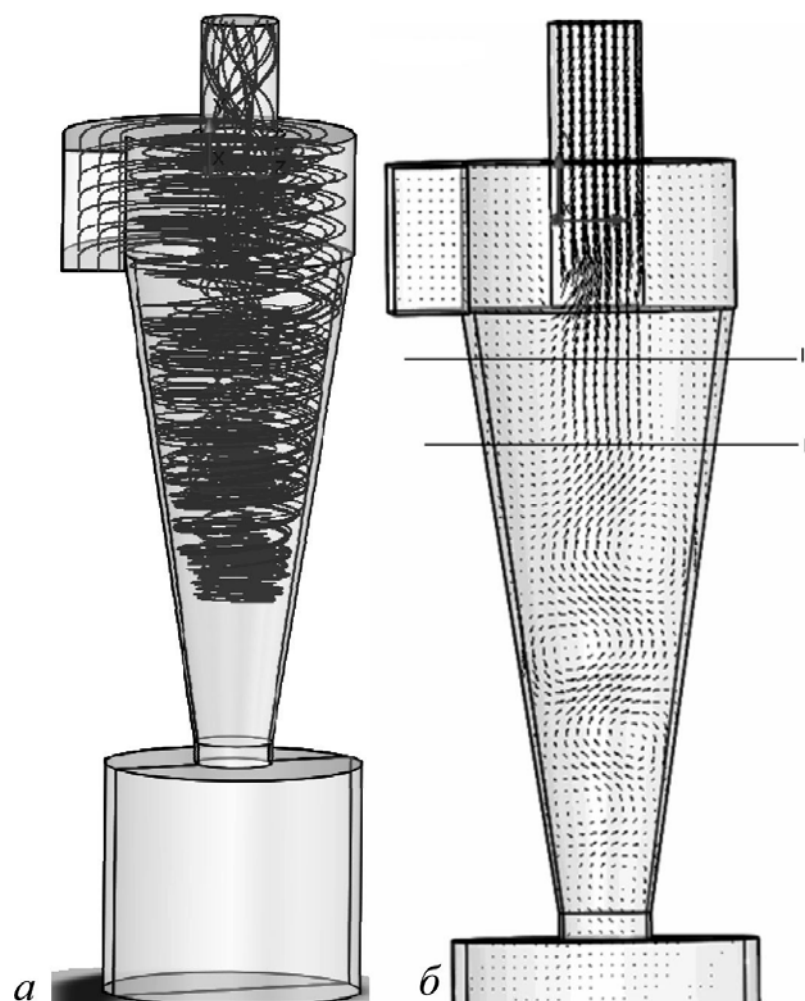


Рис. 2. Рух повітряних потоків у циклоні: а – траєкторії руху; б – проекції вектора швидкості потоку повітря на площину, яка містить вісь циклона

Пилоповітряна суміш потрапляє у сепаратор через вхідний патрубок прямокутного перерізу і починає обертатися навколо осі циклона. Утворюється зовнішній повітряний потік, який рухається до основи сепаратора (рис. 2, а). У конічній частині апарата, внаслідок збільшення гідравлічного опору, потік здійснює поворот на 180 градусів, утворює внутрішній потік і, продовжуючи обертатися, підіймається та через вихлопну трубу потрапляє в атмосферу.

На рис. 2, б показано величину проекції вектора швидкості руху повітряного потоку на вертикальну площину, яка містить вісь циклона. У циліндричній частині цієї конструкції явища радіального стоку практично немає, оскільки радіальна складова вектора руху потоку відсутня. Радіальний стік починає утворюватися нижче перерізу I (рис. 2, б). У верхній частині циклона (вище перерізу I) чітко розділені ділянки зовнішнього та внутрішнього вихорів. Нижче перерізу II ці ділянки накладаються одна на одну. Відбувається часткове перемішування зовнішнього і внутрішнього потоків і, як наслідок, захоплення частинок пилу висхідним потоком. У конічній частині апарата спостерігається обертання зовнішнього потоку не тільки навколо осі циклона, але й навколо осі, яка дотична до траєкторії руху потоку.

Частинки пилу, які перебувають у потоці у вхідному патрубку, рухаються вздовж прямолінійних траєкторій. З початком обертання потоку характер руху змінюється. Залежно від розміру, частинки можуть рухатися по стаціонарних орбітах до осі або зовнішньої стінки циклона. Характер руху може бути як плавним, так і "стрибоподібним" (рис. 3).

Частинки пилу великого діаметра та кускові відходи рухаються, вдаряючись і відскакуючи від зовнішньої стінки циклона (рис. 3, а). Дрібні частинки пилу, розмір яких є більшим за критичний діаметр частинок, які можуть бути уловлені в циклоні, плавно викривляють траєкторію руху і, продовжуючи обертатися, починають рухатися у напрямку до зовнішньої стінки циклона. Найдрібніші частинки рухаються по концентричних колах навколо осі циклона, зазнають дії радіального стоку, внаслідок чого через вихлопну трубу потрапляють до атмосфери (рис. 3, в).

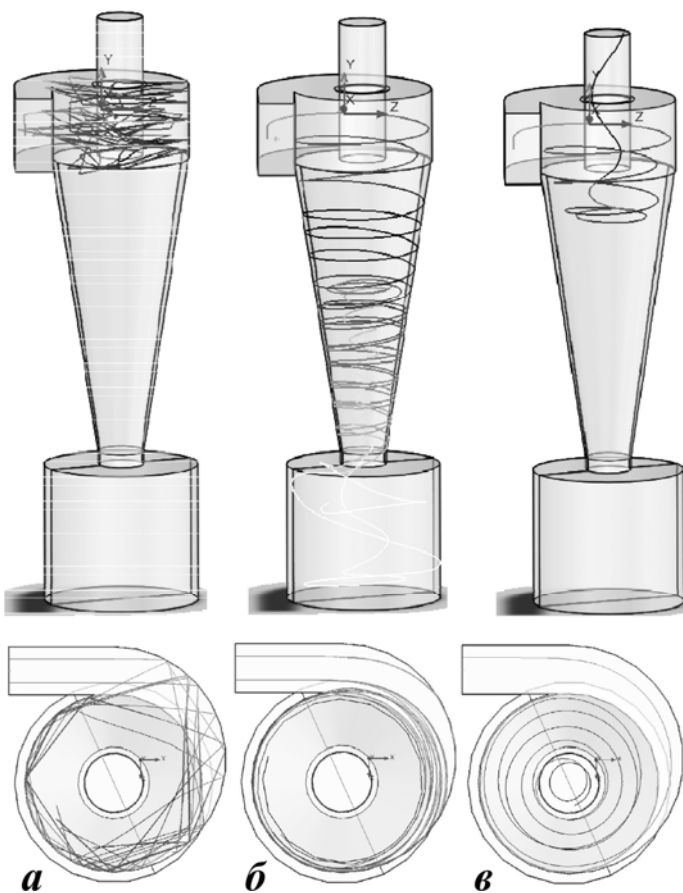


Рис. 3. Траєкторії руху частинок пилу діаметром $5 \cdot 10^{-4}$ м (а), $5 \cdot 10^{-6}$ м (б), $5 \cdot 10^{-8}$ м (в)

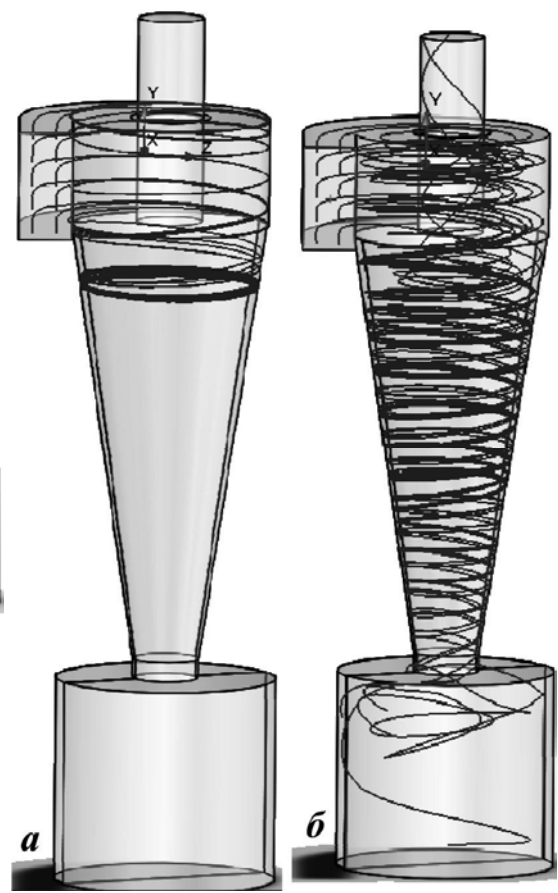


Рис. 4. Траєкторії руху частинки пилу діаметром $8 \cdot 10^{-5}$ м (а) і $8 \cdot 10^{-6}$ м (б)

Відомі на сьогодні теорії процесу уловлення частинки пилу в циклонному сепараторі вводять поняття критичного діаметра частинок пилу, які будуть уловлені в апараті. Вважають, що всі частинки пилу, розмір яких є більшим за критичне значення, будуть уловлені в циклоні, а частинки меншого діаметра потраплять до атмосфери. Здійснений аналіз показує, що частинки пилу, розмір яких становить $8 \cdot 10^{-5}$ м, починають обертатися по стаціонарній орбіті поблизу стінки у конічній частині циклона (рис. 4, а), тоді як на порядок дрібніші частинки здебільшого потрапляють до бункера (рис. 4, б). Ймовірність уловлення частинки пилу залежить не тільки від її розміру, а й від

місця її розташування у вхідному патрубку. Частинки пилу, які розташовані поблизу вихлопної труби, можуть потрапити до атмосфери внаслідок того, що частина повітряного потоку повертається і потрапляє у вихлопну трубу на ділянці поблизу її нижнього краю (рис. 2, б; 4, б). Отримані результати підтверджуються експериментальними дослідженнями, які часто свідчать про те, що окремі частинки великого розміру не уловлюються у циклоні.

Характер руху частинок пилу може змінюватись залежно від конструктивних особливостей циклона та технологічних параметрів процесу очищення (рис. 5).

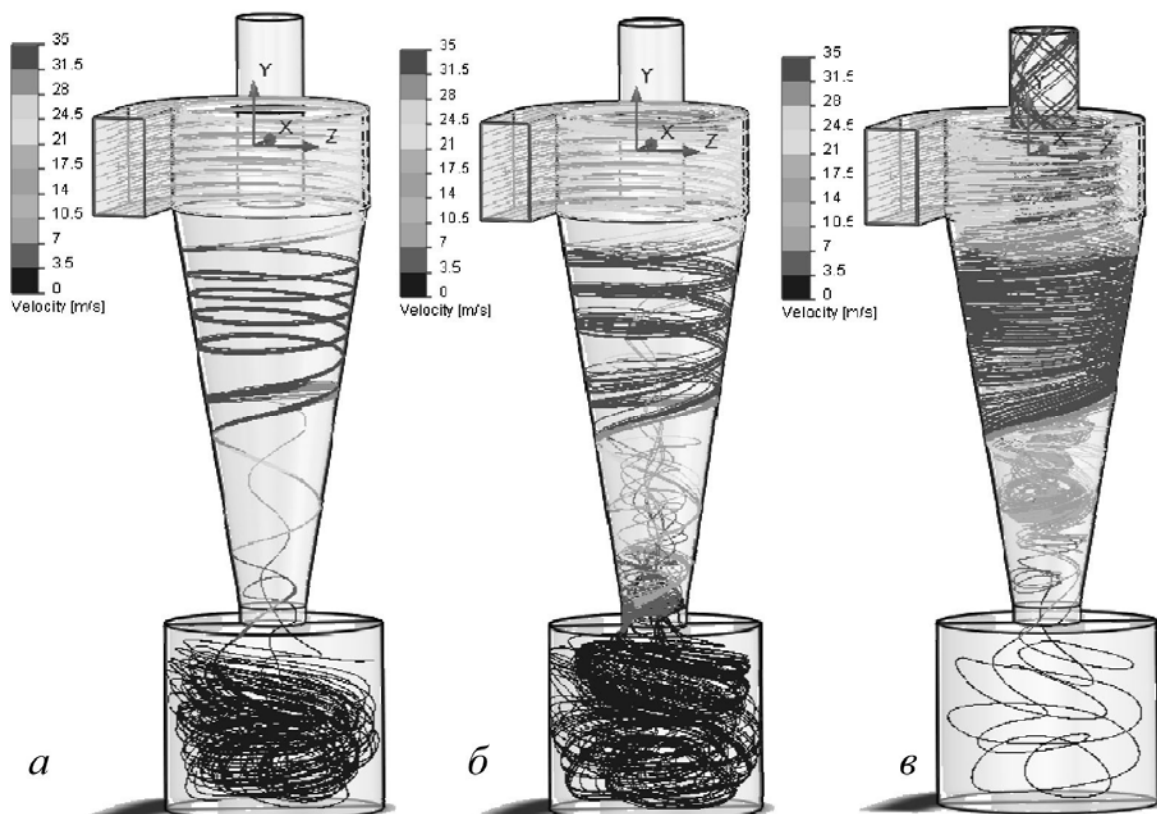


Рис. 5. Траєкторії руху частинок пилу діаметром $5 \cdot 10^{-6}$ м (а), $20 \cdot 10^{-6}$ м (б), $100 \cdot 10^{-6}$ м (в)

Рух частинок пилу діаметром 5, 20 та $100 \cdot 10^{-6}$ м зображено на рис. 5. На початку вхідного патрубка частинки пилу розподілені рівномірно по усьому поперечному перерізі. Траєкторії їхнього руху є паралельними. Проте з початком обертання навколо осі циклона відбувається перерозподіл взаємного розміщення частинок пилу. Дрібні частинки пилу за певних технологічних режимів очищення потоку в циклоні можуть утворювати так звані "пилові джгути" (рис. 5, а). При цьому з перших моментів перебування у циклонному сепараторі густина розподілу частинок пилу не є постійною величиною, а змінюється залежно від точки заміру. Із зростанням значення діаметра частинок їхній розподіл на внутрішній стороні циклона стає рівномірнішим (рис. 5, б, в). В умовах деревообробної промисловості "пилові джгути" утворюються постійно, що видно з фотографій, які зроблені під час вивчення процесу сепарації деревного пилу за допомогою прозорих моделей циклонів (рис. 6, а, б).

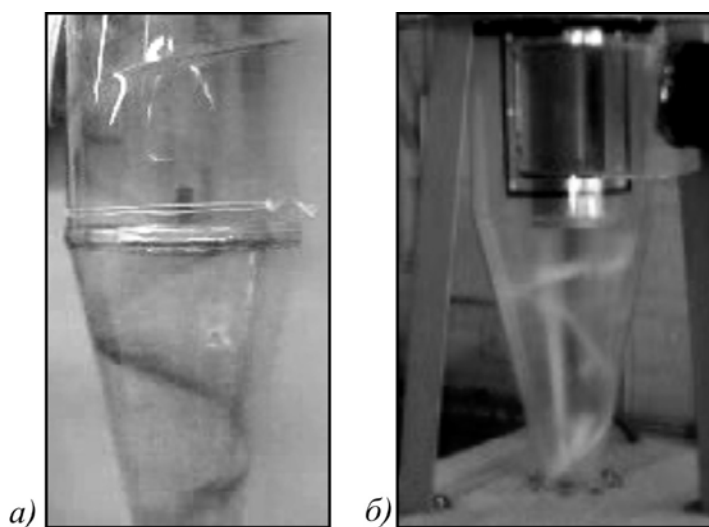


Рис. 6. Експериментальна установка для дослідження процесів сепарації пилу деревини в циклоні

Отже, запропонована модель руху двофазового пилоповітряного потоку в циклоні досить точно, що підтверджено експериментальними дослідженнями, описує аеродинамічні процеси в сепараторі та може бути використана для дослідження нових конструкцій пиловловлювачів та вивчення впливу геометричних розмірів окремих елементів на процес очищення повітряного потоку від пилу деревини, що є предметом подальших досліджень у цьому напрямку.

Література

1. Лютий Є.М. Постановка задачі про математичне моделювання руху повітряного потоку в циклоні та шляхи її числової реалізації / Є.М. Лютий, Л.О. Тисовський, Ю.Р. Дадак, А.В. Ляшеник // Науковий вісник УкрДЛТУ : зб. наук.-техн. праць. – Львів : Вид-во УкрДЛТУ. – 2009. – Вип. 19.1. – С. 48-54.
2. Тисовський Л.О. Математическое моделирование аэродинамических процессов в циклоне / Л.О. Тисовский, Л.М. Дорундяк, А.В. Ляшеник, Ю.Р. Дадак // Новейшие достижения в области импортозамещения в химической промышленности и производстве строительных материалов и перспективы их развития : матер. Междунар. научн.-техн. конф. – В 2 част. – Минск, 25-27 ноября 2009 г. – МН БГТУ, 2009. – Ч. 2. – С. 177-182.
3. Лютий Є.М. До питання моделювання руху частинки деревного пилу в фільтрувальних циклонах / Лютий Є.М., Тисовський Л.О., Ляшеник А.В. // Науковий вісник УкрДЛТУ : зб. наук.-техн. праць. – Львів : Вид-во УкрДЛТУ. – 2004. – Вип. 14.4. – С. 77-84.
4. Лютий Є.М. До виведення рівняння руху частинки пилу у фільтрувальному циклоні / Лютий Є.М., Тисовський Л.О., Кондур О.С., Ляшеник А.В. // Науковий вісник УкрДЛТУ : зб. наук.-техн. праць. – Львів : Вид-во УкрДЛТУ. – 2003. – Вип. 13.2. – С. 241-249.

Тисовський Л.О., Ляшеник А.В., Дорундяк Л.М., Дадак Ю.Р. Некоторые результаты моделирования движения двухфазного воздушного потока в циклонах

Построена математическая модель движения запыленного воздушного потока, содержащего твердые частицы (отходы производства), и на ее основе проведен числовой анализ задачи о сепарации двухфазного потока в циклоне. Описаны аэродинамические процессы в сепараторе, которые могут быть использованы для исследования новых конструкций пылеуловителей и изучения влияния геометрических размеров отдельных элементов на процесс очистки воздушного потока от пыли древесины.

Tysovsky L.O., Lyashenyk A.V., Dorundyak L.M., Dadak Yu.R. Some results of modeling two-phase stream of air in cyclone separator

In this paper was build mathematical model of dusted air traffic which consist solid parts. Based on this paper was made digital analysis of 2 – phase flow separation in cyclone. Described aerodynamic processes in a separator, which can be utilized for research of new constructions of dust separators and study of influence of geometrical sizes of separate elements on the process of cleaning of current of air from the dust of wood, are described.