

УДК 674:621.928.93

Викл. А.В. Ляшеник<sup>1</sup>, канд. техн. наук;  
доц. Л.О. Тисовський<sup>2</sup>, канд. фіз.-мат. наук;  
викл. Л.М. Дорундяк<sup>1</sup>; ст. викл. Ю.Р. Дадак<sup>2</sup>, канд. техн. наук

## ВПЛИВ ВИСОТИ ЦИЛІНДРИЧНОЇ ЧАСТИНИ ТА ГЛИБИНИ ЗАНУРЕННЯ ВИХЛОПНОЇ ТРУБИ НА ХАРАКТЕРИСТИКИ ЦИКЛОНА

Досліджено вплив геометричних розмірів циліндричної частини циклона та глибини занурення вихлопної труби на основні експлуатаційні характеристики апарата на основі теоретичних та експериментальних досліджень. Порівняно отримані результати з відомими теоріями пиловловлення.

**Постановка проблеми.** Дослідженню процесу очищення повітряного потоку в сухих механічних сепараторах присвячено багато публікацій. У літературі описано різноманітні конструкції циклонів, проте не проаналізовано вплив співвідношення розмірів окремих частин циклона на показники його роботи. Для глибокого розуміння процесу пилоочищення в циклоні та розроблення нових конструкцій таких апаратів потрібно знати, зокрема, як впливає величина відношення окремих геометричних параметрів до діаметра циліндричної частини на основні експлуатаційні характеристики пиловловлювача (гідравлічний опір та коефіцієнт корисної дії). Зважаючи на постійне підвищення вимог до якості очищення аспіраційного повітря на деревообробних підприємствах, питання вдосконалення відомих конструкцій таких апаратів є актуальним.

Ми проаналізували, на основі низки теоретичних та експериментальних досліджень, вплив висоти циліндричної частини циклона та глибини занурення його вихлопної труби на характеристики процесу очищення запиленого повітряного потоку в сепараторі. Для досягнення поставленої мети розглядали такі підходи: математична модель руху частинки пилу у циклоні [1], модель руху повітряних потоків у сепараторі на основі рівнянь Нав'є-Стокса [2], відомі експериментальні дослідження [4-6] та дослідження, виконані у [3].

Досліджували роботу циклонів ЦН-15 (рис. 1, а) та УЦ-38 (рис. 1, б). Геометричні параметри апаратів та швидкості потоку повітря у вхідному патрубку представлено у табл.

**Табл. Геометричні розміри циклона та рекомендовані значення швидкості повітряного потоку в циклонах**

| Параметр                                     | Позначення     | Од. вим. | Тип циклона   |               |
|----------------------------------------------|----------------|----------|---------------|---------------|
|                                              |                |          | ЦН-15         | УЦ-38         |
| Діаметр циклона                              | $D$            | мм       | 400           | 500           |
| Висота циліндричної частини                  | $H_{\text{Ц}}$ | мм       | 650 (250-850) | 395 (150-600) |
| Висота конічної частини                      | $H_{\text{К}}$ | мм       | 800           | 1400          |
| Діаметр вихлопної труби                      | $d$            | мм       | 240           | 220           |
| Глибина занурення вихлопної труби            | $h_3$          | мм       | 316 (56-716)  | 200 (150-600) |
| Діаметр пиловипускного отвору                | $d_0$          | мм       | 150           | 200           |
| Швидкість потоку повітря у вхідному патрубку | $V$            | м/с      | 20            | 16            |

<sup>1</sup> Коломийський політехнічний коледж;

<sup>2</sup> НЛТУ України, м. Львів

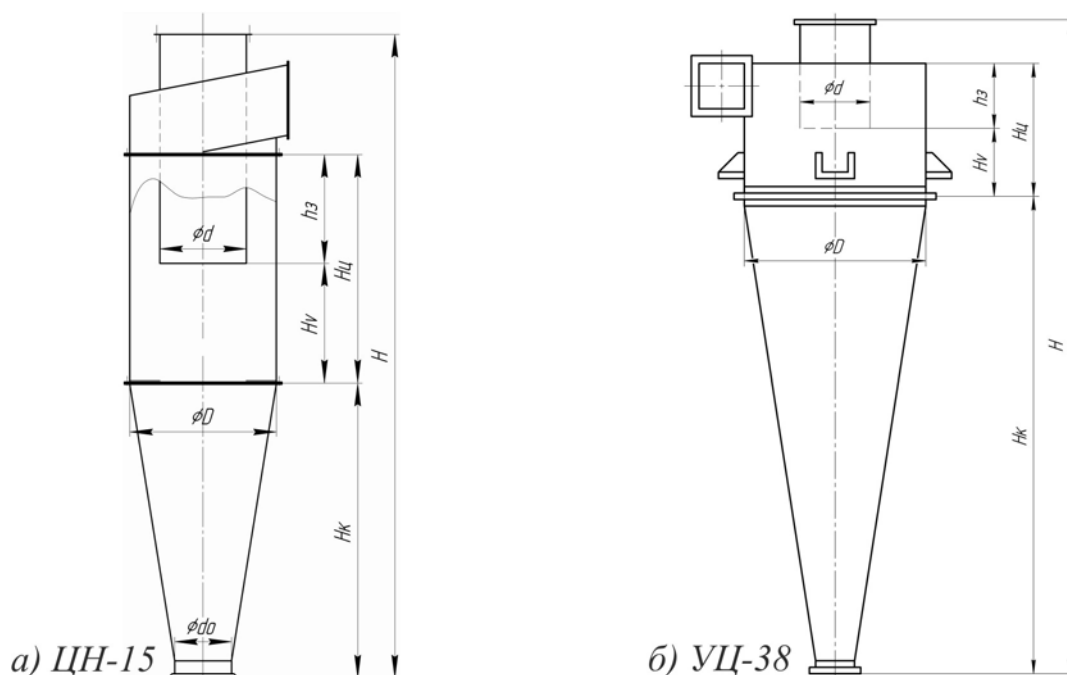


Рис. 1. Схема циклона

Розглядали процес очищення аспіраційного повітря в умовах деревообробного виробництва. Густина матеріалу частинок пилу –  $700 \text{ кг/м}^3$ .

ЦН-15 належить до циліндричних циклонів з гвинтовим вхідним патрубком. УЦ-38 – конічний циклон зі спіральним входом. Обидві конструкції апаратів набули широкого застосування як у деревообробленні, так і в інших галузях промисловості. Вплив висоти циліндричної частини циклона на ефективність пиловловлення. Аналіз ефективності процесу очищення повітряного потоку виконували, виходячи з рівняння руху частинки пилу в циліндричній частині циклона [1]:

$$\rho_{\text{ч}} \frac{\pi d_{\text{ч}}^3}{6} \cdot \frac{V_{\tau\text{ч}}^2}{r} = 3\pi d_{\text{ч}} \mu (V_{r\text{ч}} - V_{r\text{п}}), \quad (1)$$

де:  $\rho_{\text{ч}}$  – густина матеріалу частинок пилу,  $\text{кг/м}^3$ ;  $d_{\text{ч}}$  – діаметр частинки пилу, мм;  $r$  – відстань від осі циклона до центра мас частинки пилу;  $V_{\tau\text{ч}}$  – тангенціальна складова швидкості руху частинки пилу;  $V_{r\text{ч}}$  – радіальна складова швидкості руху частинки пилу;  $V_{r\text{п}}$  – радіальна складова швидкості руху потоку повітря;  $\mu$  – динамічна в'язкість повітря.

Використовуючи підхід, представлений в [1], визначимо діаметр частинки пилу, яка буде вловлена в циклоні:

$$d_{\text{чк}} = 3 \cdot \sqrt{\frac{\mu \cdot R_{\text{ад}} \cdot \text{ctg} \alpha}{(1-k) \rho_{\text{ч}} \cdot V_{\tau\text{ч}} H_{\text{ц}}}}, \quad (2)$$

де:  $H_{\text{ц}}$  – висота циліндричної частини циклона;  $\alpha$  – кут нахилу вхідного патрубку;  $k$  – кількість обертів, які робить частинка пилу навколо осі циклона;  $R_{\text{ад}} = (D - d) / 2$  – радіальний зазор між вихлопною трубою та стінкою циклона.

На основі співвідношення (2) графічно представимо залежність критичного діаметра частинки, яка буде вловлена в циклоні, від висоти циліндричної частини циклона (рис. 2).

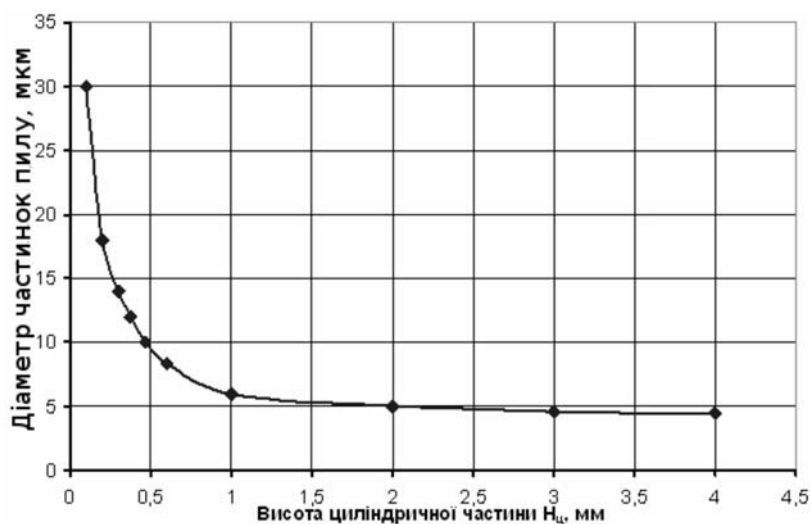


**Рис. 2. Залежність діаметра частинки пилу, яка буде вловлена у циклоні, від висоти циліндричної частини апарата**

Можемо зробити висновок, що в разі збільшення висоти циліндричної частини циклона від 0 до 0,6 м критичний діаметр частинок, які будуть уловлені в циклоні, різко зменшується. У діапазоні від 0,6 до 2 м спостерігаємо повільне зменшення значення діаметра, а за висоти циліндричної частини більше ніж два метри значення критичного діаметра практично не зменшується. Зменшення критичного діаметра частинок, які будуть уловлені в циклоні, вказує на підвищення ефективності процесу очищення повітряного потоку. Недоліком рівняння (1) є те, що воно не дає змоги врахувати форму циклона, а розглядає тільки рух частинки пилу у його циліндричній частині.

Залежність гідравлічного опору циклона від глибини занурення вихлопної труби та висоти циліндричної частини апарата.

Розглянемо вплив глибини занурення вихлопної труби та висоти циліндричної частини циклона на гідравлічний опір апарата на основі математичної моделі, яку наведено у роботі [2]. Числовий аналіз розв'язку задачі проводився за таких значень параметрів: геометричні розміри циклона (рис. 1; а, б, табл. 1); густина повітря  $\rho_n=1,3 \text{ кг/м}^3$ , густина твердої частинки  $\rho_{\text{ч}}=700 \text{ кг/м}^3$ ; початкова швидкість повітряного потоку – відповідно до моделі циклона; температура повітряного потоку  $T_0 = 20 \text{ }^\circ\text{C}$ ; статичний тиск на виході з вихлопної труби циклона дорівнює атмосферному.

На рис. 3; а, б наведено залежність гідравлічного опору циклона від глибини занурення вихлопної труби. Зі збільшенням значення  $h_z$  гідравлічний опір сепаратора зростає. Для циклона ЦН-15 характер залежності є квадратичним, а для УЦ-38 – лінійним.

Така зміна параметрів циклона в разі зміни глибини занурення вихлопної труби відповідає відомим результатам експериментів [3-6]. При цьому для кожної конструкції є своє оптимальне значення ( $h_{zo}$ ) глибини занурення вихлопної труби. За зростання значення  $h_z$  від 0 до  $h_{zo}$  ефективність процесу очищення повітряного потоку від пилу зростає. У разі подальшого занурення вихлопної труби к.к.д. апарата буде знижуватися. Залежність гідравлічного опору циклона від висоти циліндричної частини за різних значень глибини занурення вихлопної труби представлено на рис. 4; а, б.

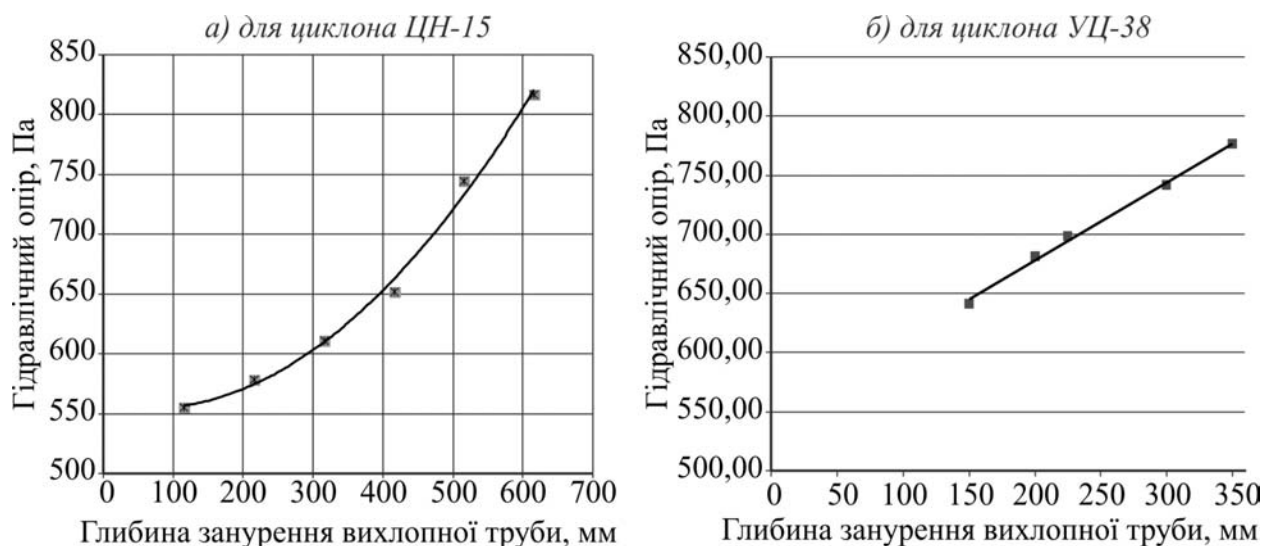


**Рис. 3. Залежність гідрравлічного опору циклона від глибини занурення вихлопної труби**

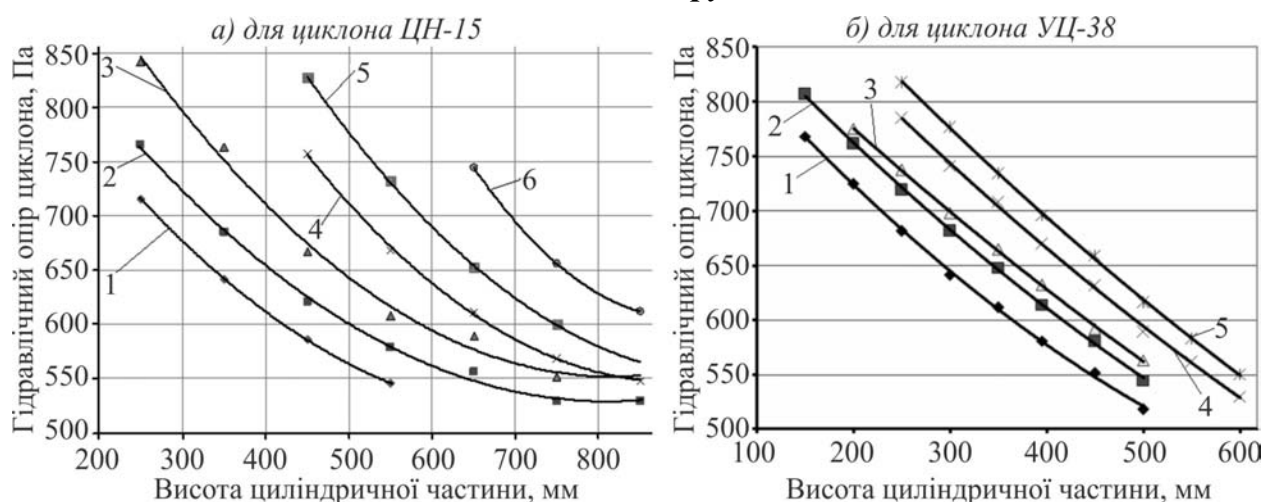


**Рис. 4. Залежність гідрравлічного опору циклона від висоти циліндричної частини**

Глибина занурення вихлопної труби (мм):  
 56 (крива 1); 116 (крива 2); 216 (крива 3);  
 316 (крива 4); 416 (крива 5); 516 (крива 6)

Глибина занурення вихлопної труби  
 (мм): 150 (крива 1); 200 (крива 2); 225  
 (крива 3); 300 (крива 4); 350 (крива 5)

Збільшення висоти циліндричної частини циклона приводить до зменшення його гідрравлічного опору. На перший погляд, ми отримали дещо несподіваний результат. З одного боку, збільшення значення  $H_{\text{ц}}$  приводить до збільшення аеродинамічного шляху, який проходить повітряний потік у циклоні, а значить – гідрравлічний опір апарата мав би зростати. Результати розрахунків свідчать про протилежне. Можна припустити, що причини такої зміни гідрравлічного опору циклона можна пояснити зміною напрямку руху повітря та наявністю вторинних потоків у циклоні. Перехід зовнішнього вихору циклона у внутрішній відбувається не тільки у конічній частині циклона, але й у циліндричній. Тому зменшення простору, в якому проходить такий поворот, приводить до зростання гідрравлічного опору апарата. Залежність значення  $\Delta P$  циклона від відстані  $H_V$  (рис. 1) кінця вихлопної труби до початку конічної частини на основі розробленої моделі показано на рис. 5; а, б. Отримані результати повністю підтверджують висунуте припущення. Тому можна стверджувати, що визначальний вплив на гідрравлічний опір циклона має

простір, який розміщений нижче від вихлопної труби. Збільшення значення  $H_V$  приводить до зниження гідравлічного опору циклона. Для циклона ЦН-15 (рис. 5 а) значення  $\Delta P$  знижується в разі зростання  $H_V$  від 0 до 600 мм, а далі залишається сталим. Для циклона УЦ-38 – від 0 до 400 мм. Для циклона ЦН-15 залежність гідравлічного опору циклона від геометричних характеристик апарата має квадратичний характер, тоді як для УЦ-38 – лінійний.

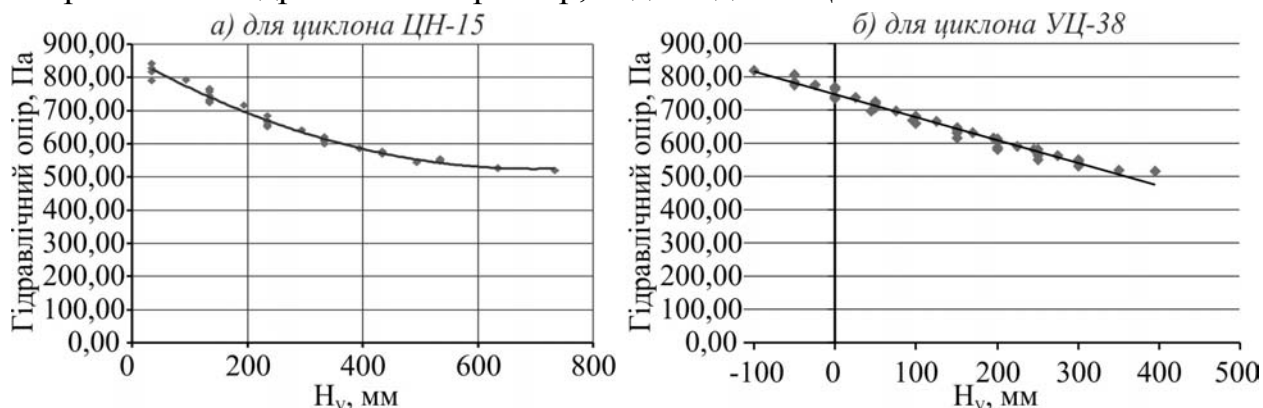


Рис. 5. Залежність гідравлічного опору циклона від відстані  $H_V$

Графік залежності гідравлічного опору циклона УЦ-38 від глибини занурення вихлопної труби за швидкості потоку повітря у вхідному патрубку 20 м/с (рис. 6). З рис. видно, що лінійний характер залежності зберігся. Квадратичним він може стати тільки в разі збільшення висоти циліндричної частини, що для конічного циклона є нехарактерним. На рис. 7 представлено залежність гідравлічного опору циклона від глибини занурення вихлопної труби для циклона ЦН-15 за різних значень висоти циліндричної частини. Для значень  $H_{cy}$  – 250, 350, 450 мм (рис. 7 криві 1-3) характер залежності можна вважати лінійним. За подальшого зростання  $H_{cy}$  він стає квадратичним.

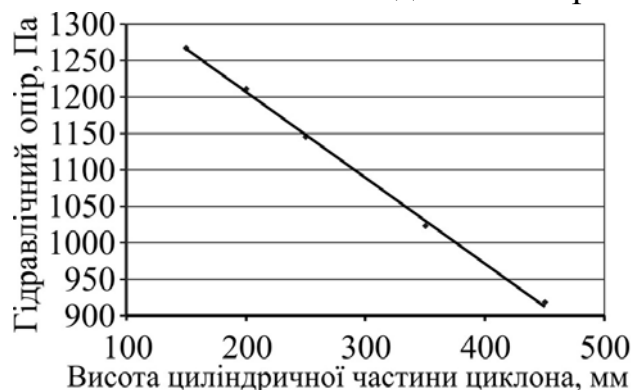


Рис. 6. Залежність гідравлічного опору циклона УЦ-38 від висоти циліндричної частини за швидкості потоку повітря у вхідному патрубку 20 м/с

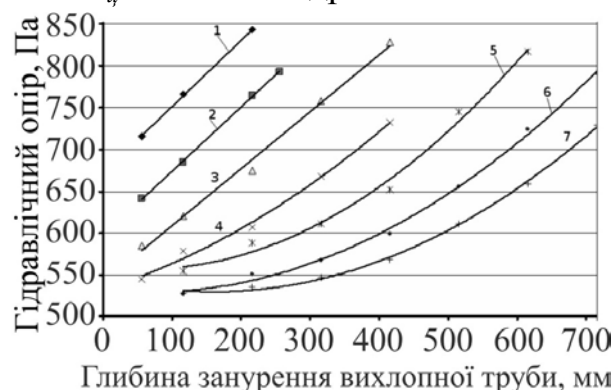


Рис. 7. Залежність гідравлічного опору циклона від глибини занурення вихлопної труби за таких значень висоти циліндричної частини циклона: крива 1 – 200 мм; 2 – 250 мм; 3 – 300 мм; 4 – 350 мм; 5 – 400 мм; 6 – 450 мм; 7 – 500 мм

**Висновки.** Отримані результати розширюють бачення процесу очищення повітряного потоку в циклонах і дають змогу зробити такі висновки:

1. Збільшення значення висоти циліндричної частини циклона приводить до зниження гідравлічного опору апарата. При цьому ефективність зростає до певного значення, після чого починає дещо знижуватися.

2. Визначальний вплив на гідравлічний опір сепаратора має простір, який розміщений нижче від вихлопної труби.
3. Збільшення значення глибини занурення вихлопної труби циклона приводить до зростання його гідравлічного опору.
4. Ефективність процесу очищення повітря в разі зростання значення  $h_3$  підвищується до певного значення, характерного для кожної окремої конструкції апарата, після чого починає знижуватися.

Характер залежності гідравлічного опору циклона від значень висоти циліндричної частини і глибини занурення вихлопної труби залежить від конструкції циклона і може бути як лінійним, так і квадратичним. Він не залежить від швидкості потоку повітря у вхідному патрубку, але залежить від висоти циліндричної частини апарата.

### Література

1. Лютий Є.М. Моделювання руху частинки деревного пилу в циклонах з фільтрувальною зовнішньою стінкою / Є.М. Лютий, Л.О. Тисовський, А.В. Ляшеник // *Машинознавство* – Львів : Вид-во "Проба-Р", 2005. – № 8. – С. 42-44.
2. Побудова математичної моделі для задачі про рух повітря в циклоні / Л.О. Тисовський, Л.М. Дорундяк, А.В. Ляшеник та ін. // *Всеукраїнський науково-технічний журнал ПГІП* 2 (28), 2010. – С. 57-62.
3. Циклони в деревообробній промисловості : монографія / Є.М. Лютий, Л.О. Тисовський, Ю.Р. Дадак, А.В. Ляшеник. – Львів : Редакція журналу "Український пасічник", 2009. – 148 с.
4. Банит М.И. Пылеулавливание и очистка газов в промышленности строительных материалов / М.И. Банит, А.Д. Мальгин. – М. : Изд-во "Стройиздат", 1979. – 351 с.
5. Пирумов А.И. Обеспыливание воздуха / А.И. Пирумов. – М. : Изд-во "Стройиздат", 1981. – 296 с.
6. Ter Linden A. Investigation into cyclone Dust Collectors / A. Ter Linden // *Proc. Inst. Mech. Eng.*, 1949. – P. 160-233.

**Ляшеник А.В., Тисовський Л.О., Дорундяк Л.М., Дадак Ю.Р.** Влияние высоты цилиндрической части и глубины погружения выхлопной трубы на характеристики циклона

Исследовано влияние геометрических размеров цилиндрической части циклона и глубины погружения выхлопной трубы на основные эксплуатационные характеристики аппарата на основе теоретических и экспериментальных исследований. Сравнены полученные результаты с известными теориями пыловловления.

**Lyashenyk A.V., Tysovskyy L.O., Dorundyak L.M., Dadak Yu.R.** About influence of height of cylinder part and depth of immersion of an exhaust pipe on descriptions of cyclone

The basis of theoretical and experimental research of influence of geometric dimensions of the cylindrical cyclone and depth of immersion to the main exhaust pipe performance vehicle described in this paper. Comparison of results with known theories of dust collecting are shown in this paper.

УДК 674.048

*Доц. Ю.М. Губер, канд. техн. наук; асист. Ж.Я. Гуменюк;  
інж. В.В. Стародуб – НЛТУ України, м. Львів*

### ЗАКОНОМІРНОСТІ ЗМІНИ ФІЗИКО-МЕХАНІЧНИХ ВЛАСТИВОСТЕЙ ДЕРЕВИНИ АКАЦІЇ В ПРОЦЕСІ ПРОПАРЮВАННЯ

Наведено методику та результати експериментальних досліджень зміни фізико-механічних властивостей деревини акації в процесі пропарювання. Отримано мате-