

*Ю. Є. Шелюх, канд. техн. наук., доцент
(Львівський навчально-науковий інститут Університету банківської справи)*

ДОСЛІДЖЕННЯ ВПЛИВУ ГІДРАВЛІЧНОГО ОПОРУ НА ПРОДУКТИВНІСТЬ РОБОТИ ВИХРОВИХ ПИЛОВЛОВЛЮВАЧІВ НОВОГО ПОКОЛІННЯ

У статті висвітлено важливу проблему, що виникає під час проектування нових конструкцій вихрових пиловловлювачів, яка полягає у відсутності прогностики щодо впливу гідравлічного опору на ефективність уловлення дрібнодисперсних фракцій пилу.

Теоретичні та практичні дослідження дають можливість визначити вплив окремих показників роботи апарата на його ефективність та гідравлічний опір. Наприклад, збільшення швидкості пилоповітряного потоку на вході в корпус установки, підвищує ефективність його роботи, проте збільшення швидкості у значних межах економічно не виправдане. При проходженні пилоповітряного потоку у вхідному патрубку (більше 20 м/с) ефективність пиловловлення зростає незначно, а при перевищенні певного значення швидкості починає зменшуватися. Проте із збільшенням швидкості потоку повітря гідравлічний опір апарата зростає, а значить і енерговитрати на очищення. Ефективна швидкість для різних пиловловлювачів не однакова, вона залежить від конструктивних особливостей установки і визначається експериментальним шляхом. У середньому ці швидкості змінюються в межах 18-25 м/с, але повинні бути не менші за 15 м/с.

Для дослідження впливу гідравлічного опору на продуктивність уловлення пилу була розроблена нова конструкція пиловловлювача, особливістю якого є принципово нове виконання жалюзі відокремлювача, який дає змогу створити мінімальний кут атаки – кут між траєкторією руху пилогазового потоку і площиною кожної жалюзі, що значно впливає на вловлення дрібнодисперсних фракцій пилу.

Тверді частинки дрібнодисперсного пилу, які несуть з собою пиловий потік, отримують сприятливі умови для сепарації з цього потоку за рахунок відштовхування від жалюзі, тобто зростає ймовірність їх зіткнення з жалюзі і відштовхування всередину корпусу апарата.

Таким чином, нова конструкція апарата складається з двох частин: циклонної камери та камери доочистки жалюзійним відокремлювачем.

У роботі наведено результати досліджень гідравлічного опору циклонної камери та камери доочистки з жалюзійним відокремлювачем, а також загального опору всього апарата при проведенні комплексних процесів пиловловлення залежно від витратних параметрів повітря й аерозолію.

Ключові слова: вихровий пиловловлювач, гідравлічний опір, ефективність пиловловлення, пилогазовий потік, дрібнодисперсний пил.

Ю.Е. Шелюх

ИССЛЕДОВАНИЕ ВЛИЯНИЯ ГИДРАВЛИЧЕСКОГО СОПРОТИВЛЕНИЯ НА ПРОДУКТИВНОСТЬ РАБОТЫ ВИХРЕВЫХ ПЫЛЕУЛОВИТЕЛЕЙ НОВОГО ПОКОЛЕНИЯ

В статье отображена значительная проблема, которая возникает во время проектирования новых конструкций вихревых пылеуловителей, и которая заключается в отсутствии прогностики относительно влияния гидравлического сопротивления на эффективность улавливания мелкодисперсных фракций пыли.

Теоретические и практические исследования дают возможность определить влияние отдельных показателей работы аппарата на его эффективность и гидравлическое сопротивление. Например, увеличение скорости пылевоздушного потока на входе в корпус установки, повышает эффективность его работы, однако увеличение скорости в значительных пределах экономически не оправдано. При прохождении пылевоздушного потока во входном патрубке (более 20 м / с) эффективность пылеулавливания возрастает незначительно, а при превыше-

нии определенного значения скорости начинает уменьшаться. Однако с увеличением скорости потока воздуха гидравлическое сопротивление аппарата растет, а значит и энергозатраты на очистку. Эффективная скорость для разных пылеуловителей не одинакова, она зависит от конструктивных особенностей установки и определяется экспериментальным путем. В среднем эти скорости изменяются в пределах 18-25 м / с, но должны быть не менее 15 м / с.

Для исследования влияния гидравлического сопротивления на продуктивность улавливания пыли была разработана новая конструкция пылеуловителя, особенностью которого является новое выполнение конструкции жалюзи отделителя, который позволяет создать минимальный угол атаки – угол между траекторией движения пылегазового потока и пространством каждой жалюзи, что значительно влияет на улавливание мелкодисперсных фракций пыли.

Твердые частички мелкодисперсной пыли, которые несут с собой пылегазовый поток, получают способствующие условия для сепарации с этого потока за счет отталкивания от жалюзи, то есть возрастает вероятность их стыкания с жалюзи и отталкивания вовнутрь корпуса аппарата.

Таким образом, новая конструкция аппарата состоит из двух частей: циклонной камеры и камеры доочистки с жалюзийным отделителем.

В работе описано исследование гидравлического сопротивления этих двух частей, а также общего сопротивления всего аппарата при проведении комплексных процессов пылеулавливания в зависимости от расходных параметров воздуха и аэрозоля.

Ключевые слова: вихревой пылеуловитель, гидравлическое сопротивление, эффективность пылеулавливания, пылегазовый поток, мелкодисперсная пыль.

Yu. Ye. Shelukh

STUDY OF HYDRAULIC RESISTANCE IMPACT ON PRODUCTIVITY OF NEW GENERATION VORTEX DUST COLLECTORS

In the paper an important problem which arises in the design of new construction vortex dust collectors was shown. It consists in absence of prognostication about the impact of hydraulic resistance on fine dust fractions capture efficiency.

Theoretical and practical studies make it possible to determine the impact of individual performance of the device on its efficiency and hydraulic resistance. For example, increasing the speed of dusty flow at the entrance of casing installation increases efficiency of its operations, but the speed increasing in large limits is not economically justified. When dust air flow passes in the output branch pipe (more than 20 m / s) the efficiency of dust collection increases slightly and when speed is above a certain value of speed it begins to decrease. But with increasing of airflow speed hydraulic resistance of the device increases and therefore power inputs on cleaning. The effective speed for different dust collectors are not similar, it depends from the design features of the installation and is determined experimentally. On average these speeds vary in the range of 18-25 m / s, but should not be less than 15 m / s.

To investigate the impact of hydraulic resistance on the performance of catching dust a new design of dust collector was developed. The feature of the device is a fundamentally new performance of louver separator that allows a minimal angle of attack – the angle between the trajectory of dust-gas flow and the plane of each louver, which greatly affects the catching of fine dust fractions.

Thus, the new design of the device consists of two parts: the cyclone chamber and the chamber purification louver separator.

Results of studies of hydraulic resistance of cyclone chamber and chambers purification louver separator were showed in the paper. The results of main resistance of all devices during carrying out the complex processes of dust collecting depending from consumables air and aerosol parameters were presented.

Keywords: vortex dust collector, hydraulic resistance, efficiency of dust collection, dust-gas flow, fine dust.

Постановка проблеми. Збільшення кількості джерел забруднення довкілля без модернізації технологічного обладнання і створення сучасних очисних систем в різних галузях промисловості загострює небезпеку життєдіяльності людини, існування флори і фауни.

З усіх чинників впливу на довкілля найбільш небезпечним є пилове забруднення атмосфери, внаслідок неконтрольованих викидів промислових підприємств та фізико-хімічних процесів у місцях складування і зберігання пилових відходів. Пил, що утворюється внаслідок технологічних процесів, є різним за дисперсним складом та властивостями. З усіх пилових викидів найнебезпечніші та важковловимі – це дрібнодисперсні ($<5 \cdot 10^{-5}$ м) фракції пилу, розміри і маса яких обмежують використання традиційних методів і схем пилоочищення.

Аналіз відомих методів пилоочищення довів, що незважаючи на високоефективне вловлення великодисперсних фракцій, вони не можуть забезпечити очищення фракцій пилу ($<100 \mu\text{м}$).

Дослідження систем очистки викидів виробництв важкої промисловості показав [1], що вміст твердих частинок в атмосфері значно перевищує гранично допустимі концентрації, і це вказує на низьку ефективність пиловловлюючих систем, зумовлених значним зносом і застарілим обладнанням.

Мета роботи. Визначити вплив гідравлічного опору на продуктивність роботи вихрових пиловловлювачів нового покоління.

Виклад основного матеріалу. Важливою проблемою під час проектування нових конструкцій вихрових пиловловлювачів є відсутність прогностики щодо впливу гідравлічного опору на ефективність уловлення дрібнодисперсних фракцій пилу.

Теоретичні та практичні дослідження дають можливість визначити вплив окремих показників роботи апарата на його ефективність та гідравлічний опір. [1, 2] Наприклад, збільшення швидкості пилоповітряного потоку на вході в корпус установки підвищує ефективність його роботи, проте, збільшення швидкості у значних межах економічно не виправдане. При проходженні пилоповітряного потоку у вхідному патрубку (більше 20 м/с) ефективність пиловловлення зростає незначно, а при перевищенні певного значення швидкості починає зменшуватися. Проте із збільшенням швидкості потоку повітря гідравлічний опір апарата зростає, а значить і енерговитрати на очищення. Ефективна швидкість для різних пиловловлювачів не однакова, вона залежить від конструктивних особливостей установки і визначається експериментальним шляхом. У середньому ці швидкості змінюються в межах 18-25 м/с, але повинні бути не менші за 15 м/с.

Практика показує, що ускладнення конструкцій протитечійних циклонів не раціональне, тому що ефективність пиловловлення порівняно із звичайними циклонами або не збільшується, або незначне підвищення ефективності супроводжується підвищенням гідравлічного опору пиловловлювача, тобто збільшенням витрат електроенергії, яка звичайно сягає 80-90 % від загальних витрат на очистку в циклонах.

Для дослідження гідравлічного опору вихрових апаратів розроблено конструкцію пиловловлювача, яка наведена на рисунку 1.

У запропонованій конструкції розташування жалюзійного відокремлювача поза корпусом апарата 3 і конструюванням його таким, що він є продовженням вихідного патрубка очищеного повітря 6 з корпусу 3 дає змогу уникнути турбулізації потоку і виділити його окремим елементом – другого ступеня очистки [2]. Таким чином газовий потік, який пройшов очистку у корпусі 3 вихрового пиловловлювача, виводиться з нього через патрубок 6 і потрапляє на другий ступінь очистки у додатковому корпусі 12 – під дією інерційних сил у жалюзійному відокремлювачі 8. Виділений пил залишається всередині відокремлювача 8 і випадає в бункер 14, а очищене повітря проходить через щілини 10 між жалюзі 9 відокремлювача і потрапляє в верхній додатковий корпус 12, звідки виводиться назовні через патрубок виходу очищеного повітря 13. Таким чином, залишаючи незмінним вихровий пиловловлювач, ми проводимо додаткову очистку того газу, який в звичайному стані викидається вже назовні, тим самим підвищуємо ефективність очистки повітря від дрібнодисперсного пилу.

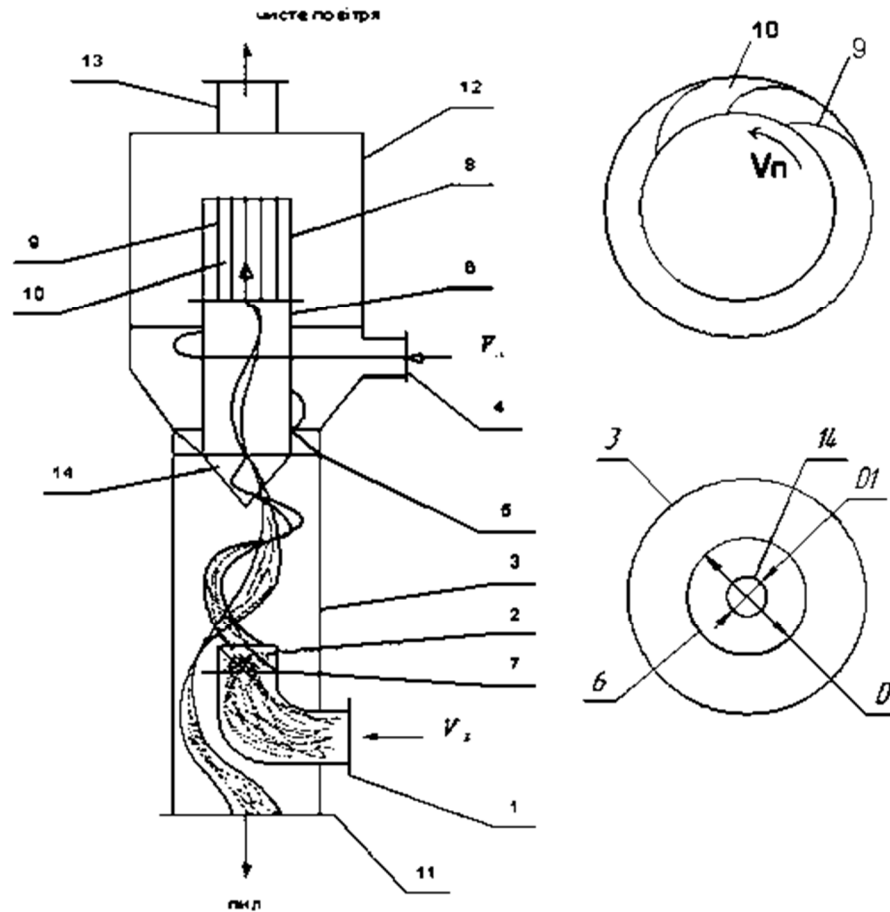


Рисунок 1 – Вихровий пиловловлювач:

1 – вхідний патрубок; 2 – завихрювач; 3 – корпус; 4 – вхідний патрубок допоміжного газу; 5 – завихрювач; 6 – патрубок виходу чистого повітря; 7 – поворотна шайба; 8 – жалюзійний відокремлювач; 9 – жалюзі; 10 – отвори між жалюзі; 11 – пиловипускний патрубок; 12 – корпус додатковий; 13 – патрубок виходу очищеного повітря; 14 – малий бункер

Вихровий апарат (рис.1) складається з двох частин циклонної (нижньої) камери 3 та камери доочистки 12 з жалюзійним відокремлювачем 8, розташованим в ній коаксіально до корпусу.

У роботі наведено результати досліджень гідравлічного опору цих двох частин, а також загального опору всього апарата при проведенні комплексних процесів пиловловлення залежно від витратних параметрів повітря й аерозолів (частинок пилу) [3].

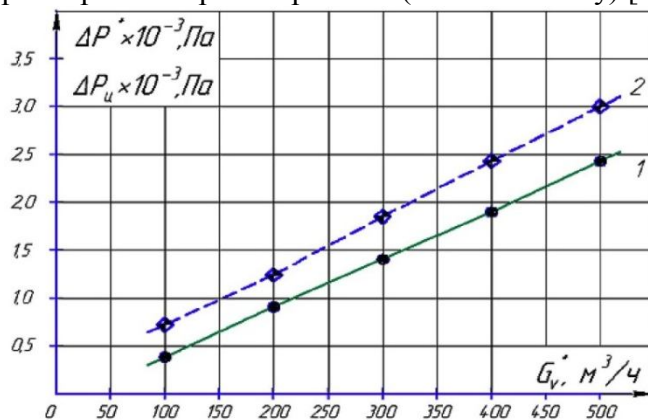


Рисунок 2 – Графік залежності гідравлічного опору циклонної частини апарата від витрат повітря

На рис.2 наведені результати експериментальних досліджень гідравлічного опору циклонної частини апарата від витрат повітря Q_n , м³/год.

На основі результатів експериментальних досліджень, які наведені на рис. 2 побудований графік залежності коефіцієнта гідравлічного опору циклонної частини апарата ξ_u від режимів руху повітря, який визначається числом Рейнольдса $Re = \frac{VD_u \rho_n}{\mu}$, де V – швидкість руху повітря в апараті, м/с; D_u – діаметр апарата, м; μ – коефіцієнт динамічної в'язкості повітря, Па·с (рис. 3).

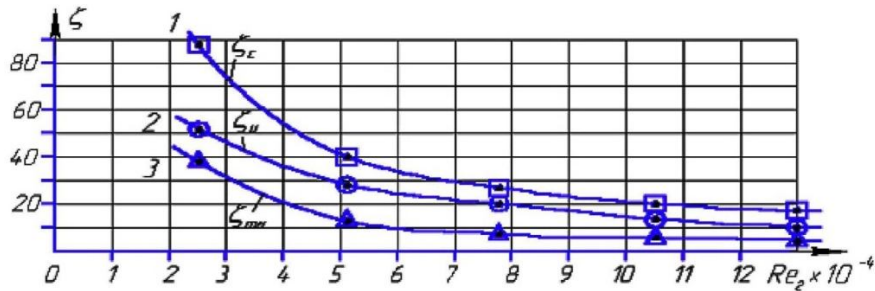


Рисунок 3 – Графік залежності коефіцієнтів гідравлічного опору апарата від числа Рейнольдса (Re)

Аналіз цього графіка показує, що при збільшенні числа Рейнольдса (Re) від $25 \cdot 10^3$ до $130 \cdot 10^3$ коефіцієнт ξ_u зменшується, прямуючи до постійного значення $\xi_u = const$.

Гідравлічний опір всього вихрового апарата ΔP_{an} (Па) визначався за коефіцієнтом гідравлічного опору ξ_{an} , який розраховувався із середньої швидкості повітря в корпусі апарата V_k , (м/с) з виразу:

$$\xi_{an} = \frac{2\Delta P_{an}}{\rho V^2}, \quad (1)$$

де $\Delta P_{an} = \Delta P_{cm} + \frac{\rho V_{ex}^2}{2}$ – перепад повного тиску у вихровому апараті, Па;

$\Delta P_{cm} = \Delta P_1 - \Delta P_2$ – перепад статичного тиску в патрубках входу і виходу повітря, Па;

ΔP_1 – тиск на вході у патрубок входу повітря, Па.

Використовуючи рівняння (1) і графік залежності (рис. 3) $\Delta P_{an} = f(Q)$ для чисел Рейнольдса Re від $25 \cdot 10^3$ до $130 \cdot 10^3$ був побудований графік залежності коефіцієнта гідравлічного опору вихрового апарата ξ_{an} від режиму руху повітря (рис.4). При більших числах Рейнольдса $Re > 100 \cdot 10^3$ коефіцієнт ξ_{an} прямує до постійної величини, асимптотично до числа Рейнольдса.

Гідравлічний опір камери додаткової очистки ΔP_d (Па) визначався за різницею гідравлічних тисків вихрового апарата ΔP_{an} і гідравлічного опору циклонної камери ΔP_u (Па) при відповідних значеннях витрат повітря.

Коефіцієнт гідравлічного опору камери додаткової очистки ξ_d визначається з виразу:

$$\xi_d = \xi_{an} - \xi_u = \frac{2\Delta P_d}{\rho V^2}, \quad (2)$$

де $\Delta P_d = \Delta P_{an} - \Delta P_u$ – гідравлічний опір камери додаткової очистки, Па.

Графік залежності коефіцієнта гідравлічного опору камери додаткового очищення ξ_d від режиму руху газу (Re), який аналогічний графікам $\xi_u = f(Re)$ та $\xi_{an} = f(Re)$.

Аналіз всіх цих графіків доводить, що гідравлічний опір циклонної частини значно перевищує гідравлічний опір камери додаткової очистки, приблизно в 1,5-2 рази, а при більших значеннях числа Рейнольдса – і в 3 рази. Це пов'язано з тим, що частина механічної ене-

ргії в циклонній камері втрачається на закручувальний пристрій, який є необхідним елементом цієї камери, але врахувати опір цього закручувального пристрою окремо експериментальним шляхом неможливо. Тому порівняння результатів експериментальних досліджень гідравлічного опору камери додаткового очищення ξ_0 з коефіцієнтом гідравлічного опору всього вихрового апарата показало їх якісний збіг. Кількісні відмінності пояснюються різними значеннями конструктивного параметра закручування на вході в апарат [4].

Гідравлічний опір апарата при подачі пилогазової суміші визначався відношенням з загального опору вихрового апарата при подачі в нього пилогазового потоку $\Delta P_{ва}$ (Па), до опору апарата, в який подається тільки повітря $\Delta P_{ан}$ (Па).

На рис. 4 наведені результати експериментальних досліджень гідравлічного опору вихрового пиловловлювача, в який подається пилоповітряна суміш від витрат: пилу (концентрації), $\text{кг}/\text{м}^3$ і повітря $\text{м}^3/\text{год}$.

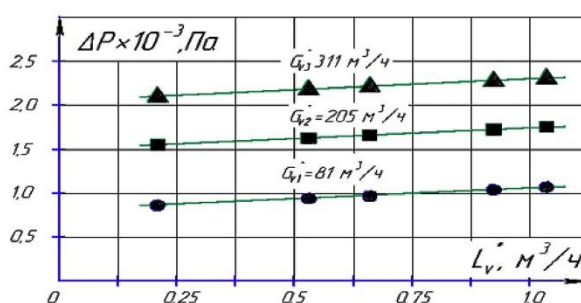


Рисунок 4 – Графік залежності гідравлічного опору $\Delta P_{ва}$ вихрового пиловловлювача від концентрації пилу (C) і витрат повітря (Q)

Деякі значення коефіцієнта гідравлічного опору $\xi_{ва}$ для вихрового пиловловлювача з пилогазовим потоком залежно від концентрації пилу C , $\text{кг}/\text{м}^3$, для фіксованих значень витрат повітря Q , $\text{м}^3/\text{год}$, наведені в таблиці 1.

Таблиця 1

Значення коефіцієнта опору для вихрового пиловловлювача з пилогазовим потоком від концентрації пилу, C

Концентрація пилу, C , $\text{кг}/\text{м}^3$	Коефіцієнт гідравлічного опору, $\xi_{ва}$	
	Витрати повітря $205 \text{ м}^3/\text{год}$	Витрати повітря $311 \text{ м}^3/\text{год}$
0.25	10	5
0.55	12	7
0.65	13	8
0.85	16	9
1.1	17	10

Загальний опір вихрового апарата, який працює для виділення пилу з пилоповітряної суміші $\Delta P_{ва}$ (Па), визначається з виразу:

$$\Delta P_{ва} = \frac{\xi_{ва} \rho V^2}{2} \quad (4)$$

де $\xi_{ва} = \xi_u + \xi_0 + \xi_v$ – коефіцієнт гідравлічного опору вихрового апарата.

Таким чином, дослідження гідравлічного опору вихрового апарата дає змогу визначити його енерговитрати при проведенні процесів пиловловлення.

Висновок. Отже, конструктивні особливості запропонованого пиловловлювача значно підвищують ефективність вловлення завдяки розміщенню жалюзійного відокремлювача в окремому корпусі над патрубком вводу додаткового пилогазового потоку, зменшивши при цьому гідравлічний опір на 80-100 Па, а габаритні розміри – в 0,2 раза.

Список літератури:

1. Батлук В.А. Зниження антропогенного навантаження на довкілля від пилових викидів промислових підприємств / В.А.Батлук, Ю.Є. Шелюх // Вісник Львівського державного університету безпеки життєдіяльності : Збірник наукових праць. – 2009. – №3. – С. 118-122.
2. Шелюх Ю.Є. Оптимізація роботи апаратів для очистки повітря від пилу на об'єктах гірничої та хімічної галузі / Ю.Є. Шелюх // Техногенна безпека: теорія, практика, інновації : Збірник тез міжнародної науково-практичної конференції. – Львів, 2011. – С. 121.
3. Шелюх Ю.Є. Оптимізація роботи прогресивної техніки для очистки повітря від промислових видів пилу / Ю.Є. Шелюх // Матеріали I Міжнародної науково-практичної конференції «Екологічна безпека як основа сталого розвитку суспільства», ЛДУ БЖД України, м. Львів. – 2012. – С.257.
4. Шелюх Ю.Є. Сучасні методи очистки повітря від промислових видів пилу / Ю.Є. Шелюх // Вісник Львівського державного університету безпеки життєдіяльності : Збірник наукових праць. – 2012. – № 6. – С.214–218.

References:

1. Batluk V.A., Shelyukh Yu. Ye. (2009), *Znuzhenia antropogennoho navantagenia na dovkillia vid pulovyh vukudiv promuslovuh pidpruemstv* [Reducing the anthropogenic impact on the environment from industrial emissions of dust], *Visnyk of Lviv State University life safety*, №3, p. 118-122.
2. Shelyukh Yu. Ye. (2011), *Optumizacia robotu aparativ dlja ochustku povitra vid puly na objektah girnuchoi ta himichnoi halysi* [Optimization of vehicles to clean the air of dust on the objects of mining and chemical industry], *Technological safety: theory, practice and innovation: Abstracts of the international scientific conference*, Lviv, p.121.
3. Shelyukh Yu.Ye. (2012), *Optumizacia robotu progresivnoi tehniku dlja ochystku povitria vid promuslovuh vudivpuly* [Optimization of advanced technology to clean the air of dust commercial species], *Proceedings of the I International Scientific Conference "Environmental safety as the basis of sustainable development"*, LSU BC Lviv, p.257.
4. Shelyukh Yu. Ye. (2012), *Suchasni metodu ochystku povitria vid promuslovuh vudivpuly* [Modern methods of cleaning the air from industrial dust types], *Visnyk LSU LS*, № 6, p.214-218.

