

Отримані результати дозволяють зробити такі висновки:

Стійкість цифрової системи регулювання суттєво залежить від частоти квантування (періоду квантування T_0).

При низькій частоті квантування (великий період квантування T_0) система може виявитись нестійкою.

Якщо система неперервного регулювання з об'єктом регулювання у вигляді аперіодичної ланки першого порядку і ПІ-регулятором завжди є стійкою, то ця ж система з цифровим регулятором, що реалізує аналогічний ПІ-регулятор, при частоті квантування $\omega_0 = \frac{2\pi}{T_0} < \frac{\pi}{T}$ ($T_0 > 2T$) стає нестійкою.

При побудові цифрових систем регулювання період квантування слід приймати значно меншим, ніж стала часу об'єкта регулювання.

УДК 674: 621.928.93

*А.В. Ляшеник – Коломийський
політехнічний коледж*

ДО ПИТАННЯ ЕФЕКТИВНОСТІ ОЧИЩЕННЯ ПОВІТРЯ У ФІЛЬТРУВАЛЬНИХ ЦИКЛОНАХ

Описано дослідження, які проводилися з метою вивчення ефективності циклонів ЦН-15 та фільтрувального циклону. Показано позитивний вплив фільтрувальної стінки на ефективність сепараторів. Виведено оптимальні співвідношення геометричних розмірів фільтрувального циклона.

A.V. Liashenyk – Polytechnical college of Kolomyia

To the question of efficiency of clearing of air in filter cyclone

This article describes researches concerning the study of the efficiency of clearing of air in the cyclone ЦН-15 and filter cyclone. It shows positive filter wall influence on the efficiency of clearing of air.

Аспіраційне повітря у суміші з матеріалами, що видаляються від технологічного обладнання, є одним із видів технологічних викидів в атмосферу на сучасних деревообробних підприємствах. Деревний пил, що міститься в цих викидах, забруднює атмосферне повітря, що наносить значну шкоду навколишньому середовищу. Крім того, деревні відходи, що входять до складу аспіраційних викидів, – тирса, пил, – будучи відходами від одних технологічних процесів, можуть служити сировиною для інших. Тому на сьогоднішній день гостро стоїть проблема ефективності пиловловлюючих пристроїв, які є частиною аспіраційних систем деревообробних підприємств. Одночасно перед підприємствами стоїть проблема зменшення енерговитрат на аспірацію технологічного обладнання. Основним пристроєм сучасних аспіраційно-повітроочисних систем є циклон. Створення нових більш ефективних конструкцій стикаються з таким протиріччям: Спроби мінімізувати спад тиску суперечать спробам підвищити ефективність вловлювання частинок. Будь-який критерій, спрямований на збільшення ефективності пов'язаний зі значним збільшенням енергетичних затрат. У ряді статей [1-3] вже було описано фільтру-

вальні циклони, дослідження яких проводиться в УкрДЛТУ. Такі пристрої володіють меншим гідравлічним опором, а значить й меншими енерговитратами на очистку аспіраційного повітря порівняно з традиційними циклонами. У цій роботі описані дослідження, що проводилися з вивчення ефективності очищення аспіраційного повітря у фільтрувальних циклонах, проведено порівняння фільтрувальних циклонів з циклонами ЦН-15 аналогічних розмірів.

Для дослідження ефективності сепараторів був розроблений, відповідно до [5], стенд для випробування сухих циклонів, які встановлені на нагнітальній стороні мережі. Дослідження проводились на штучно запиленому повітрі. Для цього використовувався пи́л різноманітного дисперсного складу, дані про який наведені в табл. 1. Відповідно до [5] відбір проб повітря на вміст пилу до і після циклону, з метою визначення його ефективності, проводили одночасно за допомогою двох пиловідбірних трубок. Відбір проб здійснювали методом зовнішньої фільтрації.

Для проведення порівняльних досліджень фільтрувальний циклон створювався на базі циклона ЦН-15 заміною зовнішньої металічної стінки фільтрувальною [2]. Дослідження проводились для обох конструкцій циклонів паралельно.

Табл. 1.

Порода дерева	Позначення	Операція	Фракції, мкм				
			200-100	100-75	75-53	53-40	<40
Ясень	A	Шліфування	2,8	10,71	14,11	12,81	59,66
	B	Пиляння	16,42	68,31	10,44	2,67	2,16
	C	Фрезерування	40,77	52,40	4,10	2,13	0,6
	D	Свердлування	48,92	44,57	3,23	2,00	1,28
	E	Фугування	56,04	36,66	3,93	1,96	1,41

Вивчалось питання залежності ефективності циклону від швидкості потоку повітря у вхідному патрубку. Для дослідження вибрано пи́л С.

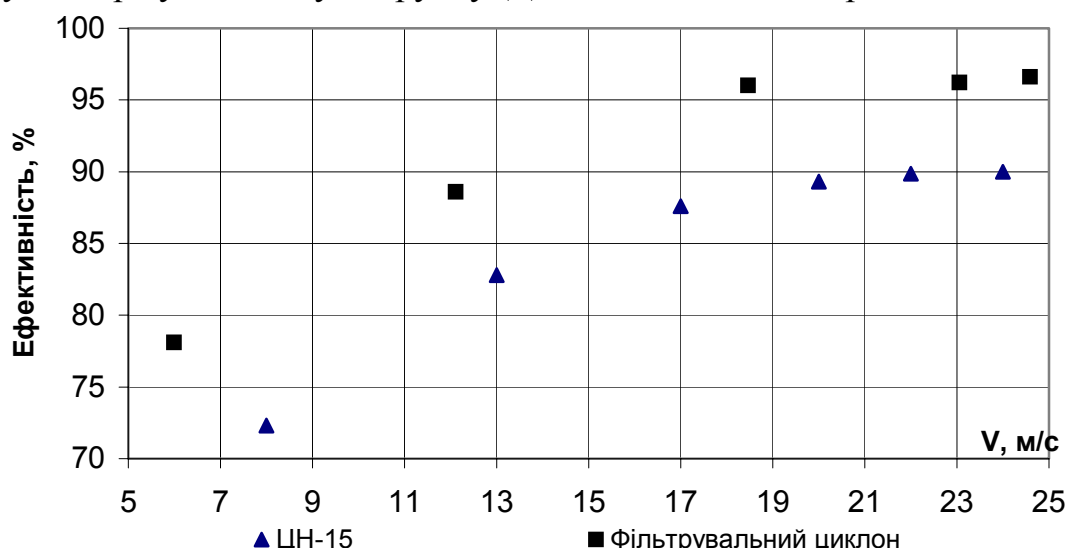


Рис. 1. Залежність ефективності циклонів від швидкості потоку повітря у вхідному патрубку

При збільшенні швидкості потоку повітря у вхідному патрубку V , підвищується ефективність роботи циклонів. При зміні значення V в межах від

0 до 18 м/с спостерігається різке підвищення ефективності фільтрувального циклона. Подальше підвищення швидкості економічно не виправдано, оскільки при цьому значно зростають енерговитрати на очистку повітря, а ефективність циклона практично не збільшується. Тому для використання приймається оптимальна швидкість потоку у вхідному патрубку, тобто швидкість, за якої ефективність циклона росте незначно. Для циклона з металічною стінкою (ЦН-15) така швидкість була визначена близько 20-22 м/с, що підтверджується в літературі [6]; для фільтрувального циклона – 18-19 м/с. Характерним є те, що вже при швидкості повітря 16-17 м/с ефективність фільтрувального циклона є значно вищою за ефективність циклона ЦН-15 при його оптимальній швидкості. Низькі енерговитрати [3], та висока ефективність при низьких швидкостях потоку повітря дає змогу рекомендувати використання повітроочисних установок на базі фільтрувальних циклонів у поєднанні з аспіраційними системами з автономними вентиляторами [7].

На графіку (рис. 2) представлено ефективність базового (ЦН-15) і фільтрувального циклонів при очистці повітря від пилу різноманітного дисперсного складу (табл. 1). Дослідження проводилися при оптимальній швидкості потоку повітря у вхідному патрубку: для циклона ЦН-15 – 21 м/с, а для фільтрувального циклона – 18 м/с.

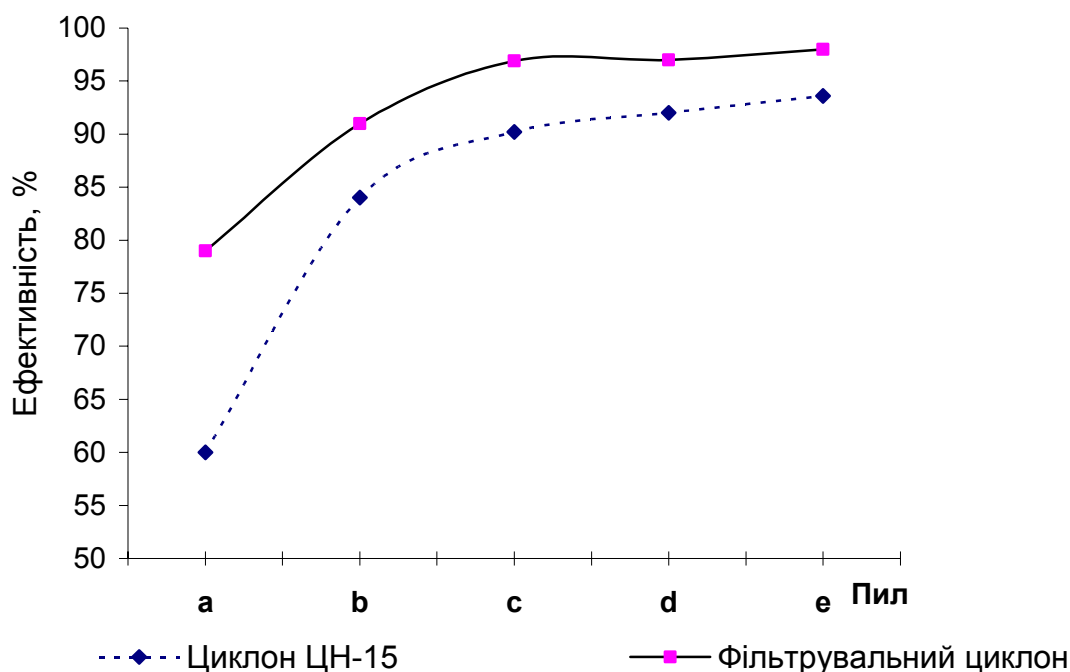


Рис. 2. Ефективність очищення пилу різноманітного дисперсного складу при оптимальній швидкості потоку у вхідному патрубку

Дослідження підтвердили, що традиційні циклони мають незадовільно низьку ефективність при роботі зі шліфувальним пилом. Ефективність фільтрувального циклона є вищою за ефективність циклона ЦН-15 для пилу різноманітних фракцій. Слід зазначити значно вищу ефективність фільтрувального циклона при очистці повітря від пилу дрібних фракцій (пил А). Результати порівняння ефективності зведені в табл. 2.

Табл. 2. Порівняння ефективності фільтрувального циклона при очистці повітря від пилу дрібних фракцій

Пил	Ефективність очищення в циклоні, %	Ефективність очищення у фільтрувальному циклоні, %	Різниця в ефективності
А	61	79	18
В	83	91,3	8,3
С	88	96,2	8,2
Д	90	97	7
Е	92	98,5	6,5

З метою визначення оптимальних співвідношень геометричних розмірів фільтрувального циклона, а також типу матеріалу для виготовлення зовнішньої стінки циклона проводилися такі дослідження.

1. Ефективності залежно від типу тканини зовнішньої стінки фільтрувального циклона.
2. Ефективності від глибини занурення вихлопної труби.
3. Ефективності від висоти циліндричної частини циклона.

Як тканину для виготовлення зовнішньої стінки циклона досліджувалися такі матеріали:

1. Тканина фільтрувальна поліефірна 3В4КТ. Густина поверхнева 450г/м². ТУ242-37-96.
2. Тканина фільтрувальна поліефір-поліамід 4В23КТ. Густина поверхнева 735г/м². ТУ242-37-96.
3. Полотно неткане ФА5 (7В203-Н).
4. Полотно неткане ФА4 (7В203-Н6/6).
5. Сітка металічна саржевого переплетення.

Результати досліджень наведені на графіку (рис. 3.)

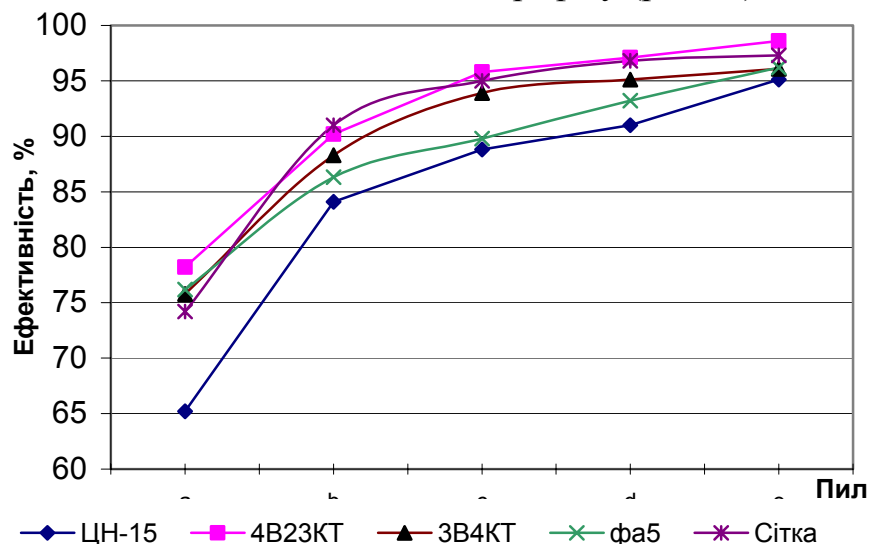


Рис. 3. Ефективність очищення повітря в циклонах при різноманітних типах фільтрувальної стінки

З точки зору ефективності, найбільш доцільно як фільтрувальну стінку використовувати тканини 4В23КТ, а також металічну сітку. Дещо нижча ефективність тканин ФА5 пояснюється слабшою саморегенерацією цієї тканини порівняно з 4В23КТ і 3В4КТ. Це можна пояснити проникненням дріб-

нодисперсних частинок пилу в товщину нетканого полотна, зменшенням його пропускної здатності, і як наслідок, зменшення кількості повітря, що проходить через фільтрувальну стінку.

Встановленням різноманітних фільтрувальних стінок досліджувалася залежність ефективності очищення при різноманітних значеннях q : відношення кількості повітря, що припадає на фільтрацію до загальної продуктивності циклона. Для запилення повітря використовували пил С. З графіка (рис. 4) видно, що при збільшенні q від 0 до 0,13 ефективність фільтрувального циклона зростає. Подальше зниження ефективності можна пояснити зниженням відцентрових сил, що діють на частинку пилу. Слід також зазначити вищу ефективність циклона при значенні $q = 0,4$ порівняно з циклоном з металічною стінкою ($q=0$). Як оптимальне слід вважати значення $q \approx 0,08 \dots 0,13$ [4].

Значення q залежить від дисперсного складу пилу, концентрації пилоповітряної суміші, режиму протікання потоку повітря та характеристик тканини. Так, при концентрації $\mu = 0,2-0,3$ (при такій концентрації працюють більшість аспіраційних систем у деревообробній промисловості), при дослідженні різних матеріалів фільтрувальної стінки при інших рівних умовах значення q становило:

- 4В23КТ – 0,08-0,1
- 3В4КТ – 0,09-0,12
- ФА4, ФА5 – 0,03-0,04
- Сітка металічна – 0,07-0,12

Тому рекомендованими для використання є: тканини 3В4КТ, 4В23КТ та сітка металічна саржевого переплетення.

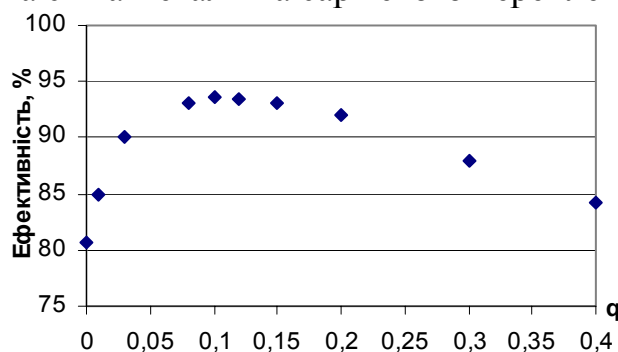


Рис. 4. Ефективність фільтрувального циклона при різноманітних значеннях частки продуктивності, що припадає на фільтрацію

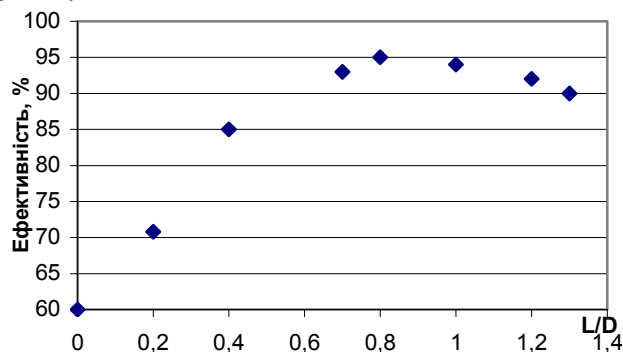


Рис. 5. Вплив глибини занурення вихлопної труби на ефективність фільтрувального циклона

На рис. 5 представлено графік залежності ефективності фільтрувального циклона від відношення глибини занурення до діаметра циклона. У циклоні з металічною зовнішньою стінкою при збільшенні занурення труби ефективність циклона зростає, проте зростає й його гідравлічний опір, а значить й енерговитрати на очистку. У фільтрувальному циклоні при збільшенні глибини занурення енерговитрати ростуть значно повільніше порівняно з ЦН-15. Оптимальна глибина занурення вихлопної труби – 0,8 діаметра, для порівняння в ЦН-15 – 1,74 [8].

Дослідження, що проводилися з вивчення ефективності фільтрувального циклона у поєднанні з описаними раніше результатами [1-4] дають змогу визначити оптимальні співвідношення геометричних розмірів фільтрувального циклона.

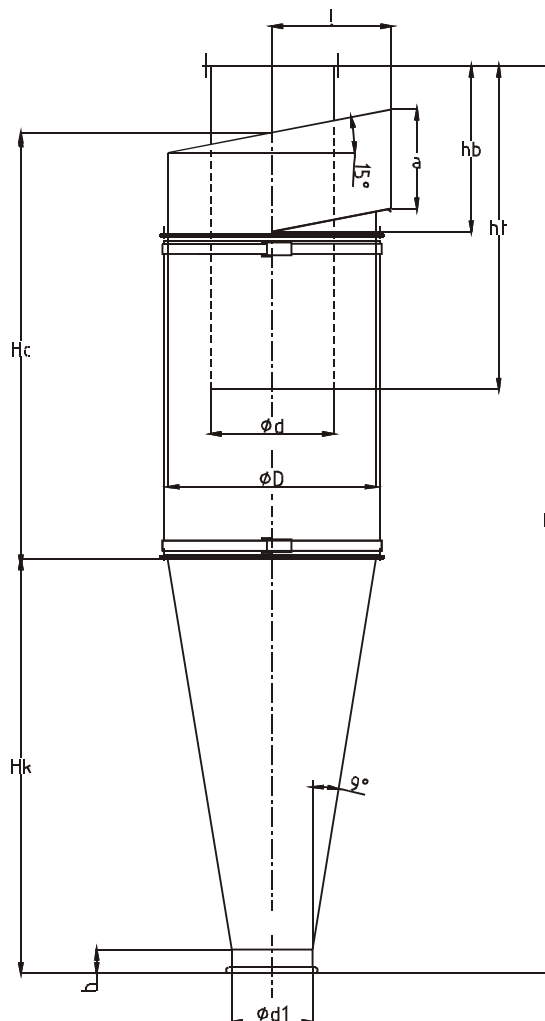


Рис. 6. Схема співвідношень розмірів фільтрувального циклона

Висока ефективність фільтрувальних циклонів порівняно з традиційними може бути пояснена такими факторами:

Найменування	Позначення	Значення
Внутрішній діаметр вихлопної труби	d	$0,59D$
Внутрішній діаметр отвору для видалення пилу	$d1$	$0,3-0,4D$
Ширина вхідного патрубку в циклоні (внутрішній розмір)	b	$0,2D$
Довжина вхідного патрубку	l	$0,6D$
Висота установки фланця	$h_{\text{фл}}$	$0,1D$
Кут нахилу кришки і вхідного патрубку циклона	α	15°
Внутрішній діаметр циклона	D	-
Висота вхідного патрубку (внутрішній розмір)	a	$0,66D$
Висота вихлопної труби	ht	$1,76D$
Висота циліндричної частини циклона	$H_{\text{ц}}$	$1,2D$
Висота конуса циклона	$H_{\text{к}}$	$2D$
Висота зовнішньої частини вихлопної труби	$h_{\text{в}}$	$0,96D$
Загальна висота циклона	H	$4,16D$

Завдяки м'якій зовнішній стінці, частина кінетичної енергії, яка виникає внаслідок удару частинки пилу до стінки циклона, гаситься.

Турбулізація приповерхневого шару, що зменшує аеродинамічні сили, пов'язані з захопленням частинки, що знаходиться у приповерхневому шарі, швидкість якого близька до нуля, наступними шарами потоку, які ближчі до осі циклона. Так, доведено [8, 9], що в циклоні з металічною зовнішньою стінкою поблизу стінки існує вертикальна складова пульсаційних швидкостей, внаслідок чого частинки, підхоплені масами повітря, що підіймається, одержують більший імпульс, ніж частинки, що рухаються до стінки. Встановлюється закономірний процес турбулентного переносу (дифузія), в результаті якого певна частка частинок пилу переміщується від зовнішньої стінки.

Поблизу зовнішньої стінки фільтрувального циклона виникає радіальний потік, пов'язаний з відтоком частини повітря через фільтрувальну стінку, який утримує частинки пилу поблизу стінки і протидіє її повторному захопленню потоком повітря.

Відсмоктування частини повітря через фільтрувальну стінку в області між вихлопною трубою і стінкою призводить до виникнення радіального потоку, спрямованого до стінки, який руйнує вихрові потоки та турбулентні завихрення, які є основною причиною низької ефективності циклонів при очищенні повітря від пилу дрібних (до 5 мкм) фракцій пилу. Таким чином пил відтягується від області початку вихлопної труби.

Виток частини очищеного повітря в атмосферу зменшує кількість повітря, що викидається через вихлопну трубу в атмосферу, що призводить до зменшення швидкості повітря у вихлопній трубі.

Вивчення фільтрувальних циклонів, що проводилося на кафедрі прикладної механіки УкрДЛТУ дозволяє робити висновок, що при значно нижчих (до 40 %) енерговитратах порівняно з циклонами НЦ-15 фільтрувальні циклони володіють значно вищою ефективністю очищення повітря від пилу.

Література

1. **Ляшеник А.В.** "Високоєфективна повітроочисна установка з фільтрувальними циклонами". "Світ меблів і деревини" 2/99 – ст. 28-29.
2. **До розподілу тангенціальної складової швидкості потоку в циклоні ЦН-15 і фільтруючому циклоні.** Лютий Є.М., Нахаєв П.П., Ляшеник А.В.// Наук. вісник УкрДЛТУ: Зб. наук.-техн. праць. – Львів: УкрДЛТУ. – 2001, вип.11.4. – С. 190-195.
3. **Лютий Є.М., Нахаєв П.П., Ляшеник А.В.** Ефективність застосування циклонів із фільтруючими зовнішніми стінками// Наук. вісник УкрДЛТУ: Зб. наук.-техн. праць. – Львів: УкрДЛТУ. – 2001, вип.12.2. – С. 121-125.
4. **Лютий Є.М., Тисовський Л.О., Нахаєв П.П., Ляшеник А.В.** Моделювання руху частинки в фільтрувальному циклоні.// Наук. вісник УкрДЛТУ: Зб. наук.-техн. праць. – Львів: УкрДЛТУ. – 2002, вип.12.8. – С. 131-137.
5. **Единая методика сравнительных испытаний пылеуловителей для очищения вентиляционного воздуха**// – Л.: ВНИИОТ ВЦСПС, 1967. – 103 с.
6. **Александров А.Н., Козориз Г.Ф.** Пневмотранспорт и пылеулавливающие сооружения деревообрабатывающих предприятий: Справочник/ Под. Ред. А.Н. Александров. – М.: Лесн. пром-сть, 1988.
7. **Климаш Р.Ф., Ляшеник В.Й., Ляшеник А.В.** "Енергоощадні аспіраційно-повітроочисні системи". "Світ меблів і деревини" № 4-98/1-99. – С. 31-32.
8. **Пирумов А.И.** Обеспыливание воздуха, 2-е изд. перераб. и доп. – М: Стройиздат, 1981. – 296 с.