

УДК 66.074.6-047.37

DOI <https://doi.org/10.26661/2071-3789-2020-1-16>

Чейлитко Андрій Олександрович, завідувач кафедри, доктор технічних наук, Запорізький національний університет, ORCID: 0000-0002-0513-155X

Ільїн Сергій Віталійович, керівник Центру післядипломної освіти, кандидат технічних наук, Запорізький національний університет, ORCID: 0000-0002-0200-0800

Лаврьонов Андрій Вікторович, магістрант, Запорізький національний університет

Белоконь Юрій Олександрович, доцент, кандидат технічних наук, Запорізький національний університет, ORCID: 0000-0002-9327-5219

ДОСЛІДЖЕННЯ ХАРАКТЕРИСТИК ЦИКЛОНУ ДЛЯ СУХОГО ОЧИЩЕННЯ ГАЗІВ ВІД ПИЛУ В МЕТАЛУРГІЇ

Одержано головні аналітичні залежності, які необхідні для розробки методики виконання експериментів та розрахунків пиловловлювання для конкретних умов роботи. Досліджено методи розрахунків циклонів як вихрових апаратів та дослідження роботи циклону для очищення повітря від пилу. На основі використаних основних теоретичних положень з тепломасообміну та термодинаміки запропоновано математична модель. Виконано розрахунки нових конструкцій сучасних циклонів щодо отримання їх геометричних розмірів, опору та ефективності вловлювання пилу.

Ключові слова: сучасний циклон, екологічний стан, сухе очищення газів, пиловловлювання, математичне моделювання

Вступ. У зв'язку зі стратегією розвитку ООН, однією із чотирьох головних задач є екологія. В галузі теплоенергетики особливий інтерес набуває розробка та застосування нових, більш ефективних пилоочисних агрегатів, що забезпечують зменшення викидів до атмосфери та зберегти деякі цінні ресурси для виробництва. Відомо, що зі зростанням нововведень в технологічні підприємства збільшується кількість шкідливих викидів до атмосфери та погіршується екологічний стан навколишнього середовища.

Огляд літератури. На металургійних підприємствах здійснюють очищення повітря, що подають у цехи та відділи й видаляють з них до атмосфери, щоб уникнути забруднення зовнішнього повітря на території підприємства та житлових кварталів, що розташовано біля неї [1].

Знепилювальні пристрої є сухими та мокрими. Під час використання мокрих знепилювальних пристроїв спостерігають підвищення ефективності очищення повітря від пилу.

Одним із перспективних напрямків знешкодження газових викидів є каталітичний метод [2], сутність якого полягає в обробці відхідних газів на каталізаторі з метою перетворення токсичних компонентів на нешкідливі або отримання корисних продуктів за відносно низької температури та концентрації домішок, що видаляють. До каталізаторів очищення газів висувають дуже жорсткі вимоги – висока активність і вибірковість каталітичної дії, термостабільність, стійкість до дії отрути, малий газодинамічний опір, що не дозволяє їх використовувати для очищення пилу та інших домішок у технологічних газах виробництва металургійних підприємств.

До теперішнього часу розроблено як теоретичні основи вловлювання пилу та газових компонентів, так і методи розрахунку різноманітної апаратури для цих цілей.

Існує декілька технологій очищення від пилу, де особливу увагу приділяють застосуванню циклонного очищення повітря. Найбільш достовірні результати можна отримати завдяки експериментальним дослідженням, які виконують на фізичних моделях. Більш спільні результати можливо отримати за використанням математичної моделі гідромеханічних процесів циклонів. Створення математичної моделі руху частинок пилу в закрученому по-

тоці дозволить оцінити вплив різних факторів на ефективність управління пилу в циклонах [3].

Для визначення характеру руху частинок, які транспортують потоком у закручених пилоповітряних потоках, та осадження їх на твердій поверхні використовують метод розрахунків газодинамічних потоків, який комбінує властивості ейлерового та лагранжевого підходів та дає змогу певною мірою усунути недоліки кожного, котрий має назву метод «частинок у комірці» [4]. На характер руху частинок значно впливають умови їх контакту під час удару з поверхнею корпусу пиловловлювача, а за достатньо значних швидкостей руху можливим є явище відбиття частинок пилу. Математичне моделювання процесу сепарації відображає взаємозв'язок процесу руху твердих частинок в апараті з його ефективністю, що дає змогу отримати траєкторію їх руху на різних ділянках апарата, за якою розраховують його ефективність для кожного типу пилу, та як наслідок для кожного типу аерозолу, маючи різні конструктивні параметри пиловловлювачів, теоретично підбирати найбільш ефективну конструкцію для кожного конкретного типу технологічного виробництва [5].

Відомою є нова циклонна установка [6], що має рельєфну поверхню з відривними зонами та зверненим догори усіченим конусом, яка характеризується меншим, у два рази, аеродинамічним опором порівняно з гладкостінними апаратами. Зниженню гідравлічного опору циклону сприяє наявність відривних зон на рельєфних поверхнях. Моделювання турбулентної течії газу в пиловловлювачі нового типу показує, що розрахунки картини перебігу в циклоні якісно задовільно узгоджуються з експериментальними даними; чисельні значення енергії турбулентних пульсацій для гладкостінних апаратів і нового типу циклонів задовільно узгоджуються з експериментальними даними по ефективності пиловловлювання цих пиловловлювачів. Зниження гідравлічного опору циклону з внутрішніми елементами порівняно з гладкостінними апаратами відбувається внаслідок перебудови течії: зменшення тангенціальної швидкості з одночасним збільшенням аксіальної швидкості потоку.

Для очищення повітря від пилу, що видаляється витяжною вентиляцією, застосовують пиловловлювачі і фільтри [7].

До пиловловлювачів відносять пилоосаджувальні камери, інерційні пиловловлювачі та циклони. Найбільш простим пиловловлювачем для очищення повітря, що видаляють, є пилоосаджувальні камери, робота яких заснована на осадженні пилинок з повітря за малої швидкості його руху ($\sim 0,1$ м/с).

У жалюзійних пиловловлювачах, пил виділяють з газового потоку зад дією інерційних сил під час змінювання напрямку руху газового потоку. За допомогою жалюзійних пластин, встановлених у газоході, потік газу поділяється на дві частини: один потік складає 80...90% всієї кількості газу та в значній мірі звільнений від пилу другий становить 10...20% і в ньому зосереджено головну масу пилу, що потім вловлюють у циклоні або в іншому, досить ефективному пиловловлювачі. Рух газу через циклон здійснюється за перепадом тиску на жалюзійній решітці.

З інерційних апаратів найбільшого поширення набули циклони які є більш ефективними та менш коштовними пиловловлювачами для грубого очищення газів, що видаляють. Такий вид пиловловлювача значно відрізняється від пилоосаджувальних камер як в конструктивному відношенні, так і за принципом дії.

Циклони набули широкого поширення та застосовуються для затримування стружки та металевого пилу. Запилене повітря підводиться вентилятором у верхню частину зовнішнього циліндра циклону.

В циклоні повітря приймає обертальний рух, внаслідок чого розвивається відцентрова сила, механічні домішки відкидаються до стінок, звідки вони прямують до нижньої частини циклону, що має форму усіченого конуса. Очищене повітря через внутрішній ци-

ліндр циклону, так звану вихлопну трубу, виходить з циклону. Нижню частину циклону періодично очищують.

В циклоні типу Ліот відділення пилу від повітря відбувається з використанням відцентрових сил, які виникають в обертовому потоці запиленого повітря, що опускається за гвинтовою лінією. Частинки пилу віджимаються до стінок і спускаються вниз. Повітря, яке пройшло очистку, виходить через центральну трубу. Ефективність очищення складає до 85% [8].

На теплових станціях для попереднього очищення в комплексі з іншими методами золовловлювання встановлюють мультициклони.

Мультициклон є об'єднанням в одному агрегаті багатьох маленьких циклонів діаметром 300...400 мм із загальним подаванням до них забрудненого повітря та загальним бункером для золи, яка осіла. У мультициклоні затримується до 65...70% золи [9].

Інтерес представляють пиловловлювачі мокрого типу, які відрізняються доброю ефективністю. До них відносяться відцентрові скрубери, циклони-промивачі, пиловловлювачі Вентурі та пінні пиловловлювачі.

Фільтри є пристроями, де запилене повітря очищають, пропускаючи його через сітчасті або пористі матеріали (скляну вату, гравій, кокс, пористий папір, тканину, металеву сітку) [10].

Також слід відзначити електрофільтри та ультразвукові пиловловлювачі. Принцип дії електрофільтру заснований на отримуванні пиловими частинками електричних зарядів під час проходження з повітрям через електричне поле, та подальшого осідання на електродах, з яких потім видаляються механічним способом [11].

В ультразвукових пиловловлювачах використовують здатність пилових частинок під дією потужного звукового потоку до коагуляції, тобто до згортання в пластівці, що дуже важливо для уловлювання з повітря аерозолів [12]. Такі пластівці випадають у бункер. Звуковий ефект створюється сиреною, які можуть бути застосованими у пилоочисних установках продуктивністю до $15 \cdot 10^3 \text{ м}^3/\text{год}$.

Постановка проблеми. Описані пристрої для очищення повітря, цехів і відділів металургійних підприємств, що видаляють витяжною вентиляцією до атмосфери, далеко не вичерпують всі види пиловловлювачів і фільтрів, які використовують для запобігання забруднення повітряного басейну міст.

Незважаючи на існуюче різноманіття очисних апаратів на даний час для очищення газів від пилу найбільшого поширення знайшли циклони завдяки їх низькій вартості, простоті та зручності експлуатації. У зв'язку з цим розробка перфорованого циклону потребує виконання досліджень, спрямованих на підвищення ступеня вловлювання пилу з газів, що і розглядається в даній роботі.

Головна частина досліджень. Розрахунки циклонів передбачають визначення їх геометричних розмірів, опору та ефективності уловлювання пилу.

Нині найбільш поширеним методом розрахунків циклонів є метод узагальнення та використання показників, отриманих під час випробування циклонів за промислових умов або на стендах.

Метод розрахунків циклонів з використанням дослідних даних засновано на визначенні діаметра циклону за формулою [13]

$$D_c = \left(\frac{Q_z}{900 \cdot \pi \cdot W_{ym}} \right)^{0,5}, \quad (1)$$

де Q_z – об'ємна витрата газу через циклон, $\text{м}^3/\text{год}$.; W_{ym} – умовна видаткова швидкість газу в циклоні, $\text{м}/\text{с}$.

Опір циклону визначають з використанням рівняння

$$\Delta P = 0,5 \xi_0 \cdot W_{ym}^2 \cdot \rho, \quad (2)$$

де ΔP – перепад тиску в циклоні, Па; ξ_0 – загальний коефіцієнт опору циклону, або

$$\Delta P = 0,5 \xi_0 \cdot \frac{W_{ym}^2 \cdot \gamma}{g}, \quad (3)$$

де γ – питома вага газу, кг/м³; g – сила вільного падіння частинки пилу, кг/с².

Швидкість газу W_{ex} у вхідному патрубку циклона обчислюють за формулою

$$W_{ex} = \left(\frac{2 \cdot \Delta P}{\xi_{ex} \cdot \rho} \right)^{0,5}, \quad (4)$$

де ξ_{ex} – вхідний коефіцієнт опору циклону.

Значні обсяги викидів і низькі коефіцієнти корисної дії циклонів призвели до суттєвої залишкової запиленості атмосфери, що потребує як розробки нової конструкції даних агрегатів, так і нових теоретичних вирішень і систем знепилювання газів. Так у роботі [14] знайдено узагальнюючий конструктивний параметр циклонів $K = \Sigma f / (\pi \cdot R_0 \cdot R_{mp} \cdot \cos \beta)$ і визначено його оптимальне значення, що забезпечує максимум коефіцієнта корисної дії циклону, а також отримано аналітичну залежність, що характеризує довжину вихрової камери L_{max} , що є необхідною для уловлювання мінімальних частинок пилу d_{min} .

$$L_{max} = \frac{9D_u \cdot K}{\varepsilon^2} \cdot \frac{\mu}{\rho_m} \cdot \frac{R_u}{R_0} \cdot \frac{1}{W_0} \cdot \frac{\left(\frac{R_{mp}}{R_u} \right)^4 \cdot \frac{1}{\cos \beta}}{\left[1 + \frac{R_{mp}}{R_u} + \left(\frac{R_{mp}}{R_u} \right)^3 + \left(\frac{R_{mp}}{R_u} \right)^4 \right] \cdot d_{min}^2}, \quad (5)$$

де Σf – сумарна площа патрубків підведення потоку повітря з пилом, м²; R_0 – плече закручування (відстань від осі патрубка підведення до осі обертання циклону); R_{mp} – внутрішній радіус труби циклону, що відводить β – кут закручування потоку повітря з пилом, град.; D_u – внутрішній діаметр циклону, м; μ – коефіцієнт динамічної в'язкості повітря, якого очищують, Па·с; W_0 – швидкість руху потоку повітря, м/с; ρ_m – дійсна щільність частинки пилу, кг/м³.

Під час розробки великогабаритних циклонів їх здатність до уловлювання пилу може бути визначеною на моделі менших розмірів, що потребує наявності треба мати залежності, які дозволяють виконати перерахунок з фізичної моделі на натуральний об'єкт.

Використовуючи залежність (5), визначимо розмір пилинки, яка буде уловленою циклоном на довжині L його камери

$$d_{min} = \frac{3D_u}{\varepsilon} \cdot \left(\frac{\mu}{\rho_m} \cdot \frac{1}{W_0} \cdot \frac{K \cdot \frac{R_u}{R_0} \cdot \left(\frac{R_{mp}}{R_u} \right)^4}{\left[1 + \frac{R_{mp}}{R_u} + \left(\frac{R_{mp}}{R_u} \right)^3 + \left(\frac{R_{mp}}{R_u} \right)^4 \right] \cdot L_{max} \cdot \cos \beta} \right)^{0,5}, \quad (6)$$

де ε – коефіцієнт зменшення моменту кількості руху від входу в циклон до виходу з газо-відвідної труби.

Швидкість руху потоку газу (повітря з пилом) на виході з патрубка підведення визначають за формулою

$$W_0 = \left(\frac{2\Delta P}{\xi_{\text{ex}} \cdot \rho_2} \right)^{0,5}, \quad (7)$$

де ρ_2 – щільність газу, що очищують; ξ_{ex} – коефіцієнт опору циклону, який визначається наступним чином:

$$\xi_{\text{ex}} = \left[\frac{\frac{R_0}{R_y} \cdot \cos \beta}{\frac{R_{mp}}{R_y} \cdot \left(1 - K \cdot \frac{1}{4 \operatorname{tg} \alpha_1} \cdot \frac{1}{\varepsilon} \right) \cdot \cos \alpha_1} \right]^2$$

Підставляючи значення W_0 та ξ_{ex} до формули (6) й виконуючи відповідні перетворення, отримаємо залежність, що визначає зв'язок між геометричними розмірами циклону та його здатністю вловлювати частинки пилу діаметром d_{\min} таким чином:

$$d_{\min} = \frac{3D_y}{\varepsilon \cdot \left(\frac{2\Delta P}{\rho_2} \right)^{0,25}} \cdot \left(\frac{\mu}{\rho_m} \cdot \frac{K}{\left(1 - K \cdot \frac{1}{4 \operatorname{tg} \alpha_1} \cdot \frac{1}{\varepsilon} \right) \cdot \cos \alpha_1} \cdot \frac{\left(\frac{R_{mp}}{R_y} \right)^4}{\left[1 + \frac{R_{mp}}{R_y} + \left(\frac{R_{mp}}{R_y} \right)^3 + \left(\frac{R_{mp}}{R_y} \right)^4 \right] \cdot L_{\max}} \right)^{0,5} \quad (8)$$

Для геометрично подібних циклонів на основі формули (8) можна записати

$$\frac{d_{\min}}{D_y} = \frac{C}{\varepsilon} \cdot \left(\frac{\rho_2}{2\Delta P} \right)^{0,25} \cdot \left(\frac{\mu_2}{\rho_m} \right)^{0,5} \cdot \left(\frac{1}{L} \right)^{0,5}, \quad (9)$$

де

$$C = \operatorname{const} = 3 \cdot \left(\frac{K}{\left(1 - K \cdot \frac{1}{4 \operatorname{tg} \alpha_1} \cdot \frac{1}{\varepsilon} \right) \cdot \cos \alpha_1} \cdot \frac{\left(\frac{R_{mp}}{R_y} \right)^4}{\left[1 + \frac{R_{mp}}{R_y} + \left(\frac{R_{mp}}{R_y} \right)^3 + \left(\frac{R_{mp}}{R_y} \right)^4 \right]} \right)^{0,5}$$

Із залежності (10) визначимо константу C

$$C = \frac{d}{D_y} \cdot \varepsilon \cdot \left(\frac{2\Delta P}{\rho_2} \right)^{0,25} \cdot \left(\frac{\rho_m}{\mu_2} \right)^{0,5} \cdot (L_{\max})^{0,5}. \quad (10)$$

Для двох подібних циклонів, з яких один позначено індексом 1, а другий – індексом 2 можна записати

$$\frac{d_1}{D_{y1}} \cdot \varepsilon_1 \cdot \left(\frac{2\Delta P_1}{\rho_{21}} \right)^{0,25} \cdot \left(\frac{\rho_{m1}}{\mu_{2a1}} \right)^{0,5} \cdot (L_1)^{0,5} = \frac{d_2}{D_{y2}} \cdot \varepsilon_2 \cdot \left(\frac{2\Delta P_2}{\rho_{22}} \right)^{0,25} \cdot \left(\frac{\rho_{m2}}{\mu_{22}} \right)^{0,5} \cdot (L_2)^{0,5}. \quad (11)$$

Звідки частинка пилу, яку вловлюють у першому циклоні, визначиться розміром пилу, вловленого у другому циклоні, за наступним співвідношенням

$$d_1 = d_2 \cdot \frac{D_{y1}}{D_{y2}} \cdot \frac{\varepsilon_2}{\varepsilon_1} \cdot \left(\frac{\Delta P_2}{\Delta P_1}\right)^{0.25} \cdot \left(\frac{\rho_{z1}}{\rho_{z2}}\right)^{0.25} \cdot \left(\frac{\rho_{m2}}{\rho_{m1}}\right)^{0.5} \cdot \left(\frac{\mu_{z1}}{\mu_{z2}}\right)^{0.5} \cdot \left(\frac{L_2}{L_1}\right)^{0.5} \quad (12)$$

Оскільки $\mu = \rho \cdot \nu$, то

$$\left(\frac{\rho_{z1}}{\rho_{z2}}\right)^{0.25} \cdot \left(\frac{\rho_{z1}}{\rho_{z2}}\right)^{0.5} \cdot \left(\frac{\nu_1}{\nu_2}\right)^{0.5} = \left(\frac{\rho_{z1}}{\rho_{z2}}\right)^{0.75} \cdot \left(\frac{\nu_{z1}}{\nu_{z2}}\right)^{0.5}$$

тоді

$$d_1 = d_2 \cdot \frac{D_{y1}}{D_{y2}} \cdot \frac{\varepsilon_2}{\varepsilon_1} \cdot \left(\frac{\Delta P_2}{\Delta P_1}\right)^{0.25} \cdot \left(\frac{\rho_{z1}}{\rho_{z2}}\right)^{0.75} \cdot \left(\frac{\rho_{m2}}{\rho_{m1}}\right)^{0.5} \cdot \left(\frac{\nu_{z1}}{\nu_{z2}}\right)^{0.5} \cdot \left(\frac{L_2}{L_1}\right)^{0.5}, \quad (13)$$

або

$$\frac{d_1}{d_2} = \frac{D_{y1}}{D_{y2}} \cdot \frac{\varepsilon_2}{\varepsilon_1} \cdot \left(\frac{\Delta P_2}{\Delta P_1}\right)^{0.25} \cdot \left(\frac{\rho_{z1}}{\rho_{z2}}\right)^{0.75} \cdot \left(\frac{T_{z2}}{T_{z1}}\right)^{0.75} \cdot \left(\frac{\mu_1}{\mu_2}\right)^{0.75} \cdot \left(\frac{\rho_{m2}}{\rho_{m1}}\right)^{0.5} \cdot \left(\frac{\nu_{z1}}{\nu_{z2}}\right)^{0.5} \cdot \left(\frac{L_2}{L_1}\right)^{0.5} \quad (15)$$

Якщо під індексом 2 позначити модельний циклон, а під індексом 1 – його натуральний варіант, то результати випробувань модельного циклону з уловлювання пилу діаметром d_2 можна перерахувати на уловлювання пилу діаметром d_1 за допомогою натурального циклону за залежністю (13).

Висновки. Як результат теоретичних досліджень визначено аналітичні залежності головних параметрів циклону, що дають змогу виконати їх експериментальні дослідження та розробити методику розрахунку циклонів нової конструкції, що дозволить конструювати пиловловлювачі з максимальним коефіцієнтом корисної дії для конкретних умов роботи.

Бібліографічний перелік

1. Абрамович Г. Н. Прикладная газовая динамика. Москва : ГИТТЛ, 1953. 736 с.
2. Середа Б. П., Кожемякин Г. Б., Рыжков В. Г., Белоконь К. В. Влияние состава никель-алюминиевого сплава с добавками кобальта, марганца и меди на структуру и удельную активность катализатора на их основе / *Строительство. Материаловедение. Машиностроение. Сер. Стародубовские чтения*. 2009. Вып. 48. С. 101-104.
3. Вязовский Е. С., Николаев Н. А. Особенности движения капель жидкости в массообменных аппаратах вихревого потока. *Известия Вузов. Химия и химическая технология*. 1972. Т. 15. С. 936-942.
4. Жук П. Ф., Юрчук І. А. Математичні методи в аеродинаміці: Навчальний посібник. Київ : НАУ, 2013. 315 с.
5. Волков Е. В., Суслов С. М. Об аэродинамическом сопротивлении циклонных камер при циркуляции твердой дисперсной фазы в ее объеме. *Труды УПИ*. Свердловск. 1974. Вып. 227. С. 58-60.
6. Чейлытко А. А., Павленко А. М. Особенности гидродинамики дисперсного потока в вихревых камерах. *Збірка наукових праць ДДТУ*, 2010. № 11. С. 76-82.
7. Vatin N. I., Sagittarius K. I. Air purification using cyclone type apparatuses. *Young Scientist*. 2017. Is. 13. P. 165-168.
8. Shelukh Yu. E. Modern methods of air purification from industrial types of dust. *Journal «Heat power»*. 2012. Is. 10. P. 146-174.
9. Malgin A. D., Scriabin G. M. Purification of gases and air from dust in the chemical industry. *Journal of Modern High Technology*. 2019, Is. 12. P. 199-203.

10. Асламова В. С. Автоматизация расчетов пылеуловителей. *Известия Томского политехнического университета*. 2008. № 6. С. 28-31.
11. Асламова В. С. Автоматизированная система исследования циклонов и скрубберов. *Известия Томского политехнического университета*. 2010. № 8. С. 43-49.
12. Naumkin A. The characteristic and separation effects in a cylindrical cyclone dust collector. International Youth Scientific Conference on Heat and Mass Transfer in the Thermal Control System of Technical and Technological Energy Equipment, 2017; Tomsk; Vol. 110. Pp. 126-127.
13. Голубцов В. М. Расчет угла крутки на выходе из вихревых газовых горелок. *Газовая промышленность*. 1976. № 7. С. 26-32.
14. Голубцов В. М. К расчету числа лопаток завихрителей вихревых горелочных устройств. *Теплоэнергетика*. 1988. № 3. С. 73-75.

References

1. Abramoich G. N. *Prikladnaya gazovaya dinamika*. Moskva : GITTL, 1953. 736 p.
2. Sereda V. P., Kozhemyakin G. B., Ryzhkov V. G., Belokon K. V. Stroitel'stvo. Vliyanie sostava nikel'-aluminievogo splava s dobavkami kobal'ta, margantsa i medi na strukturu i udel'nuyu aktivnost' katalizatora na ikh osnove / *Materialovedenie. Mashinostroenie. Ser. Staroduboskie chteniya*. 2009. vol. 48. pp. 101-104.
3. Vyazovski E. S., Nikolaev N.A. Osobennosti dvizheniya kapel' zhidkosti v massoobmennyykh apparatakh vikhrevoogo potoka. *Ivestiya Vuzov. Khimiya i khimicheskaya tekhnologiya*. 1972. t. 15. pp. 936-942.
4. Zhuk P. F., Uyrchuk I. A. Matematychni metody i aerodynamitsi: Navcchal'ny posibnyk. Kyiv : NAU, 2013. 315 p.
5. Volkov E. V., Suslov S. M. Ob erodinamicheskom coprotivlenii tsiklonnykh kamer pri tsirkulyatsii pri tverdoy dispersnoy fazy v ob'eme. *Trudy UPI. Sverdlovsk*. 1974. vol. 227. pp. 58-60.
6. Cheilytko A. A., Pavlenko A. M. Osobennosti gidrodinami dispersnogo potoka v vikhrevykh kamerakh. *Zbirka naukovykh prats' DDTU*, 2010. no 11. pp. 76-82.
7. Vatin N. I., Sagittarius K. I. Air purification using cyclone type apparatuses. *Young Scientist*. 2017. vol. 13. pp. 165-168.
8. Shelukh Yu. E. Modern methods of air purification from industrial types of dust. *Journal «Heat power»*. 2012. no. 10. pp. 146-174.
9. Malgin A. D., Scriabin G. M. Purification of gases and air from dust in the chemical industry. *Journal of Modern High Technology*. 2019. no. 12. pp. 199-203.
10. Aslamova V. S. Avtomatizatsiya raschetov pyleuloviteley. *Izvestiya Tomskogo politekhnicheskogo universitets*. 2008. no. 6. pp. 28-31.
11. Aslamova V. S. Avtomatizirovannaya sistema issledovaniya tsiklonov i skrubberov. *Izvestiya Tomskogo politekhnicheskogo universitets*. 2008. 2010. no. 8. pp. 43-49.
12. Naumkin A. The characteristic and separation effects in a cylindrical cyclone dust collector. International Youth Scientific Conference on Heat and Mass Transfer in the Thermal Control System of Technical and Technological Energy Equipment, 2017; Tomsk. vol. 110. pp. 126-127.
13. Golubtsov V. M. Raschet ugla krutki na vykhode iz vikhrevykh gazovykh girelok. *Gazovaya promyshlennost'*. 1976. no. 7. pp. 26-32.
14. Golubtsov V. M. K Raschetu chisla lopatok zavikhriteley vikhrevykh gorelokhnykh ustroystv. *Teplenergetika*. 1988. no 3. pp. 73-75.

Cheilytko Andrii, head of the department, doctor of technical sciences, Zaporizhia national university.

Il'in Sergii, head of the center for postgraduate education, candidate of technical sciences, Zaporizhia national university.

Lavryonov Andrii, undergraduate, Zaporizhia national university.

Belokon Yurii, Associate professor, candidate of technical sciences, Zaporizhia national university.

**RESEARCH OF CYCLONE DESCRIPTIONS FOR GRY CLEANING OF GASES
FROM DUST IN METALLURGY**

In the field of heat energy, the development and application of new, more efficient dust cleaning units, which reduce emissions into the atmosphere and preserve some valuable resources for production, are of particular interest. It is known that with the growth of innovations in technological enterprises, the number of harmful emissions into the atmosphere increases and the ecological state of the environment deteriorates. The development and application of new, more efficient dust collection units that will help reduce emissions into the atmosphere and save some very valuable resources for production is an urgent area of scientific research. With the growth of innovation in technological enterprises, the amount of harmful emissions into the atmosphere increases. The ecological state of the environment is also deteriorating. The main analytical dependencies have been developed, which are necessary for constructing a methodology for conducting experiments and calculating dust collection for specific operating conditions. Methods for calculating cyclones as vortex devices and the study of the operation of a cyclone for cleaning air from dust were investigated. On the basis of the basic theoretical principles of heat and mass transfer and thermodynamics used during analytical research, a mathematical model was proposed. Calculations of new designs of modern cyclones were presented to obtain their geometric dimensions, resistance and efficiency of dust collection. Modern cyclones are designed to more efficiently remove dust from the air in a variety of applications. As a result of theoretical research, the analytical dependences of the main parameters of the cyclone are determined, which allow to perform their experimental studies and develop a method of calculating cyclones of new design, which will design dust collectors with maximum efficiency for specific operating conditions.

Стаття надійшла: 02.10.2020 р.