

doi: 10.31721/2306-5451-2024-1-58

Міністерство освіти і науки України  
*Криворізький національний університет*

**Вісник**  
**Криворізького національного**  
**університету**

*Збірник наукових праць*

*Випуск 58*

**Кривий Ріг 2024**

Редакційна колегія: **Ступнік М.І.**, д-р техн. наук, проф. (головний редактор); **Бровко Д.В.**, д-р техн. наук, проф. (заступник головного редактора); **Азарян А.А.**, д-р техн. наук, проф.; **Березовський А.А.**, д-р геол. наук, проф.; **Варава Л.М.**, д-р екон. наук, проф.; **Вілкул Ю.Г.**, д-р техн. наук, проф.; **Губін Г.В.**, д-р техн. наук, проф.; **Жуков С.О.**, д-р техн. наук, проф.; **Зінченко О.А.**, д-р екон. наук, проф.; **Зубов Д.А.**, д-р техн. наук, проф., Охрид, Македонія; **Ільяс Ніколае**, д-р техн. наук, проф., Петрошани, Румунія; **Калініченко В.О.**, д-р техн. наук, проф.; **Ковальчук В.А.**, д-р техн. наук, проф.; **Коробко В.М.**, д-р техн. наук, проф., Массачусетс, США; **Котов І.А.**, д-р техн. наук, доц.; **Кіяновський М.В.**, д-р техн. наук, проф.; **Купін А.І.**, д-р техн. наук, проф.; **Лапшин О.Є.**, д-р техн. наук, проф.; **Монастирський Ю.А.**, д-р техн. наук, проф.; **Моркун В.С.**, д-р техн. наук, проф.; **Олійник Т.А.**, д-р техн. наук, проф.; **Паламар А.Ю.**, канд. техн. наук, доц.; **Перебудов В.В.**, д-р техн. наук, проф.; **Пікільняк А.В.**, канд. техн. наук, доц.; **Савельєв С. Г.**, д-р техн. наук, проф.; **Сінчук О.М.**, д-р техн. наук, проф.; **Сидоренко В.Д.**, д-р техн. наук, проф.; **Ткаченко А.М.**, д-р екон. наук, проф.; **Толмачов С.Т.**, д-р техн. наук, проф.; **Турило А.М.**, д-р екон. наук, проф.; **Учитель О.Д.**, д-р техн. наук, проф.; **Шахно А.Ю.**, д-р екон. наук, проф.; **Шишкін О.О.**, д-р техн. наук, проф.; **Федоренко П.Й.**, д-р техн. наук, проф.; **Щокін В.П.**, д-р техн. наук, проф.

Збірник внесено до Переліку фахових видань, в яких можуть публікуватися результати дисертаційних робіт (наказ Міністерства освіти і науки України № 326 від 04.04.2018 р.).

Збірник індексується в наукометричних базах даних Google Scholar, Index Copernicus, Research Bible, Academic Keys та ін., в загальнодержавній реферативній базі даних «Україніка наукова» (реферативний журнал «Джерело»). Збірник надсилається до Національної бібліотеки України імені В.І. Вернадського НАН України та провідних наукових бібліотек України.

У матеріалах збірника викладено результати досліджень у галузі технічних та економічних наук. Розглянуто шляхи підвищення ефективності промислових виробництв, автоматизації, контролю та керування технологічними процесами. Важливе місце займають питання енергозбереження, економіки, надійності охорони праці, техніки безпеки, захисту довкілля.

Наукові статті збірника рекомендовані науковим та інженерно-технічним працівникам, студентам, магістрантам й аспірантам.

Випуск № 58 рекомендовано до друку та до поширення через мережу Інтернет Вченою радою Криворізького національного університету (протокол № 10 від 26.04.2024 року).

Адреса редакції: Криворізький національний університет  
вул. Пушкіна, 44, Кривий Ріг, 50002,  
Тел. (056) 409 61 29  
web-сайт <http://visnykknu.com.ua>

Кривий Ріг  
Зміст

<i>Ступнік М.І., Калініченко В.О., Калініченко О.В., Шепель О.Л., Кушнерьов І.П., Федько М.Б., Пільчик В.В.</i> Дослідження екологічно безпечного відкрито-підземного видобутку з утилізацією гірничих відходів у виробленому просторі шахт та кар'єрів .....	3
<i>Кіянівський М. В., Пікільняк В. А., Нечаєв В. П., Кіянівська Н. М.</i> Логіка вибору індивідуальних тракторій навчання здобувачів вищої освіти спеціальності "Прикладна механіка" через закономірності розвитку фахових середовищ .....	9
<i>Ковальчук Т.М., В.А. Ковальчук</i> Особливості застосування класичних методів вищої математики при моделюванні економічних процесів .....	15
<i>Morkun V.S., Hryshchenko S.M., Hryshchenko Y.O., Nizhehorodtsev V.O., Tananaiev D. E.</i> Investigation of a microcontroller control device at a beneficiation plant with fine screening technology .....	22
<i>Сінчук О.М., Омельчук М.М.</i> Варіативність превентивного вибору тягових електродвигунів в структурах сучасних енергоефективних електроприводів рудникових електровозів .....	30
<i>Монастирський Ю. А., Максименко І. С.</i> Дослідження закономірностей зміни продуктивності дизель-тролейбозів у залізрудних кар'єрах Криворізького басейну .....	36
<i>Письменний С.В., Федько М.Б.</i> Використання високопродуктивних вибухових речовин на підземних гірничих роботах .....	40
<i>Шаповалова Н. Н., Доценко І. О., Трачук А. А., Скринніков І. В.</i> Застосування інструментів штучного інтелекту для аналізу часових рядів .....	46
<i>Тімченко Р.О., Крішко Д.А., Сюткін Є.І.</i> Компоненти ландшафтного дизайну в структурі ділових центрів .....	52
<i>Пироженко А.В., Касаткіна І.В., Федотов В.О., Власюк В.П., Поліщук П.І.</i> Ідентифікація і класифікація причин електротравматизму у залізрудному виробництві .....	58
<i>Кондратенко М.М., Савельєв С.Г. Губін, Г.В.</i> Дослідження зміни калориметричних показників водного середовища в процесі ультразвукової обробки з визначенням параметрів хвиль .....	64
<i>Турило А.М., Турило А.А., Святенко С.В., Ксенофонтова А.О.</i> Фінансовий менеджмент: особливості використання категорій «капітал», «людський капітал» і «людський актив» .....	70
<i>Переметчик А.В., Федоренко С.О., Подойніщина Т.О.</i> Оцінка та моніторинг гірничо-геометричних показників родовища .....	74
<i>Савін В.В., Кіріченко П.С.</i> Ефективне використання ґрунтових теплообмінників в енергоощадній вентиляції .....	83
<i>Турило А.М., Турило А.А., Короленко Р.В., Непіша А.О.</i> Стратегічне управління підприємством: сутність і ознаки .....	89
<i>Максимова О.С., Максимов С.В., Веснін А.В.</i> Обґрунтування строків служби кар'єрних автосамоскидів БелАЗ-7513 у відповідності до умов їх експлуатації .....	94
<i>Мамонов К. А., Вяткін Р. С., Штерндок Е. С., Наливайко Т. А.</i> Моніторинг використання земель регіонів: екологічні аспекти .....	104
<i>Хруцький А.О., Франузо М.О.</i> Аналіз конструкцій повітряних сепараторів для тонкодисперсних матеріалів .....	109
<i>Шерстньов Ю.В., Осадчук Ю.Г.</i> Розробка алгоритму оптимізації рівнів споживання електричної енергії підстанцій гірничо-збагачувального комбінату за допомогою інтелектуальних систем .....	116
<i>Лапшин О.Є., Ярошенко Г.М.</i> Оптимізація систем вентиляції з урахуванням температурних режимів повітря в цехах збагачення титано-цирконієвої руди .....	124
<i>Лапшин О.О., Ярошенко В.О.</i> Комплексне дослідження шкідливих впливів складних гірничо-геологічних умов на безпеку будівництва, гірничо-добувної діяльності та існуючих цивільних і промислових об'єктів .....	130
<i>Чубенко В.А., Світгарєєв Л.Н., Ярош Т.П., Плотніков В.В., Хіноцька А.А.</i> Моделювання гарячого прокатування товстих листів .....	137
<i>Sidorenko V. D., Romanenko A. O.</i> Classification of methods for detecting voids in rock massive .....	142
<i>Єрмоєнко О.Ю., Волков С.О., Демченко О.О., Демченко С.О.</i> Оцінка залишкового ресурсу металеві підкранової балки на стадії зростання втомної тріщини .....	148
<i>Горбачов Ю.Г., Хруцький А.О., Кривенко О.Ю., Ліфенцов О.С.</i> Вибір раціональної динамічної схеми вібраційного пристрою для попередньої зміцнювальної обробки сирих окатишів .....	153
<i>Азарян А.А., Швидкий О.В.</i> Пошук шляхів зниження втрат та зубожіння підірваної гірської маси .....	157
<i>Шахно А.Ю., Мамедова А.А.</i> Основні аспекти формування адаптаційного потенціалу підприємств та організацій в умовах невизначеності .....	162
<b>АНОТАЦІЇ</b>	
<i>А н о т а ц і ї</i> .....	168

Отримані значення інтегрального показника дозволили побудувати моніторингову геопросторову карту, яка дозволило візуалізувати процеси, що відбуваються у сфері використання земель, попереджувати негативні явища на регіональному рівні та своєчасно реагувати на них.

### Список літератури

1. Цілі Сталого Розвитку: Україна. URL: <https://www.kmu.gov.ua/storage/app/sites/1/natsionalna-dopovid-csr-Ukrainy.pdf>.
2. **Василюк О. В.** Консервація деградованих земель та формування екомережі: правовий аспект. Вісник Харківського національного університету імені В. Н. Каразіна. Серія: біологія. 2014. Вип. 20. № 1100. С. 229–234.
3. **Василюк О., Костюшин В., Коломицев Г.** Нові підходи до розбудови національної екомережі України. Природно-ресурсний потенціал збалансованого (сталого) розвитку України: матеріали Міжнародної науково-практичної конференції (Київ, 19–20 квітня 2011). К.: Центр екологічної освіти та інформації, 2011. Т. 2.
4. **Дейнега М. А., Масвський В. А.** Проектування національної екологічної мережі у контексті стратегії сталого розвитку: правовий аспект. Науковий вісник Національного університету біоресурсів і природокористування України. 2014. Вип. 197. Ч. 2.
5. **Кагало О. О.** Розбудова екологічної мережі в Україні: принципи, проблеми, перспективи. Збірник Матеріалів дев'ятої наукової конференції молодих учених «Наукові основи збереження біотичної різноманітності» (Львів, 1–2 жовтня 2009). Л.: Інститут екології Карпат НАН України, 2009. С. 10–13.
6. **Ващишин М. Я., Шарван О. О.** Вплив законодавства ЄС на розвиток законодавства України про національну екологічну мережу. Сучасні тенденції розвитку національного законодавства України: Збірник тез міжнародної науково-практичної конференції, присвяченої 10-річчю створення юридичного факультету НУБіП (19–20 травня 2011 р.). 2011. С. 268.
7. **Артов А., Балобін С., Василюк О., Городецька Н., Кривохижа М., Мовчан Я., Рудик О., Сіренко І., Шапаренко С.** «Льодовиковий період» у заповідній справі (огляд ситуації у заповідній справі в Україні за 2008–2012 рр.) заг. ред. Кравченко О. Екологія. Право. Людина. 2013. № 17–18. С. 57–58.
8. **Шлапак А. В.** Реформування фінансово-економічного механізму управління природно-заповідним фондом. Механізм регулювання економіки. 2005. № 4. С. 51–62.
9. **Маринич О. М., Пархоменко Г. О., Петренко О. М., Шищенко П. Г.** Удосконалена схема фізико-географічного районування України. Укр. географ. журн. 2003. № 1. С. 16–20.
10. **Вяткін, К. І., Мороз Н. В., Шишкін Е. А., В'яткін Р. С.** Теоретико-методичні підходи до визначення поняття моніторингу земель. Науково-технічний збірник «Комунальне господарство міст» ХНУМГ ім. О.М. Бекетова, 2018. № 7 (146). С. 281–285.
11. **Гірний Б. М.** Сучасний стан і перспективи розвитку природно-заповідного фонду України. Продуктивні сили і регіональна економіка: Зб. наук. пр.: У 2 ч. РВПС України НАН України. К.: РВПС України НАН України, 2004. Ч. 1. С. 91–98.
12. **Ковальчук І. П., Іванов Є. А., Свідерко І. Б.** Географічні особливості територіального розподілу об'єктів природно-заповідного фонду Львівської області. Наук. вісник Укр. держ. лісотехнічного ун-ту, 2004. Вип. 14.8. С. 51–62.
13. **Вяткін К. І., В'яткін Р. С.** Теоретичні підходи щодо визначення моніторингу використання земель об'єктів природно-заповідного фонду. Науково-технічний збірник «Комунальне господарство міст» ХНУМГ ім. О.М. Бекетова, Харків. 2020. № 4(157). С. 72–78.

Рукопис подано до редакції 26.02.24

УДК 622.767.553

А.О. ХРУЦЬКИЙ, канд. техн. наук, доц., М.О. ФРАНУЗО, аспірант  
Криворізький національний університет

## АНАЛІЗ КОНСТРУКЦІЙ ПОВІТРЯНИХ СЕПАРАТОРІВ ДЛЯ ТОНКОДИСПЕРСНИХ МАТЕРІАЛІВ

**Мета.** Проведення аналізу та розширення відомої класифікації існуючих конструкцій сучасних повітряних сепараторів для сухого поділу дисперсних матеріалів. Створення класифікації сучасного обладнання для пневматичного розділення та його подальший аналіз, дає змогу відділити оптимальний сепаратор, конструкція якого є найбільш перспективною для застосування при сухому поділі сировини та піддається збільшенню продуктивності за рахунок впровадження нових технічних рішень.

**Методи дослідження.** У роботі використано аналіз та узагальнення досвіду відомих досліджень, розробок та конструкцій повітряних сепараторів, що випускаються серійно, аналіз їх відомих класифікацій та особливостей конструкцій.

**Наукова новизна.** Визначено залежність ефективності розділення матеріалу від продуктивності розглянутих класів повітряних сепараторів, що випускаються серійно. Мінімальну продуктивність та ефективність поділу мають

гравітаційні сепаратори, що використовують тільки дві сили. Використання відцентрової сили та активного ротору у конструкціях повітряних сепараторів забезпечують найвищі показники продуктивності, керованості процесом сепарації, та ефективність розділення матеріалу.

**Практична значимість.** Доповнено та розширено відому класифікацію конструкцій сучасних повітряних сепараторів для сухого поділу дисперсних матеріалів. Запропоновано класифікація конструктивних елементів повітряних сепараторів на основі проведено аналізу відомих конструкцій та досвіду експлуатації.

**Результати.** Визначено раціональні конструктивні особливості повітряних сепараторів, що дозволяють забезпечити максимальну ефективність розділення, продуктивність та керованість процесом розділення, а саме використання відцентрової сили, активного ротору та зони циркуляції. Видокремлено основну проблему класу відцентрових сепараторів, пов'язану з нестабільністю їх роботи в наслідок перемішування (турбулізації) окремих потоків з різними швидкостями у зоні поділу, а також чутливості до зміни співвідношення повітря-тверде у матеріалі.

**Ключові слова:** повітряні сепаратори, класифікація повітряних сепараторів, відцентрові повітряні сепаратори, гравітаційні повітряні сепаратори, каскадні повітряні сепаратори, повітряні сепаратори із псевдозрідженим шаром, інерційні повітряні сепаратори.

doi: 10.31721/2306-5451-2024-1-58-109-116

**Проблема та її зв'язок з науковими та практичними завданнями.** Гірничозбагачувальні підприємства, технологічний процес на яких, в основному, ґрунтується на технологіях мокрого збагачення, розглядають можливість впровадження і технологій сухого збагачення мінеральної сировини. Застосування таких технологій є перспективним шляхом підвищення економічної ефективності переробки магнетитових руд за допомогою сухої магнітної сепарації тонкодисперсних матеріалів [4, 5].

Процес сухого збагачення є екологічно безпечнішим та економічно ефективнішим. Суттєва економія споживання технологічної води, відсутність необхідності фільтрації, згущення, висушування продуктів збагачення та потреби у ставках шламонакопичувачах – далеко не повний перелік переваг технології сухого збагачення. Відповідно до означених переваг, запровадження сухого методу збагачення у гірничодобувній промисловості у подальшому дозволить відмовитися від будівництва великих збагачувальних фабрик, суттєво зменшить використання технологічної води, спростить технологічні схеми збагачення, зменшить питомі капітальні та експлуатаційні витрати.

У випадку застосування технології сухого збагачення важливого питання набуває процес сухої класифікації дисперсних матеріалів [3, 4]. Таке обладнання для поділу дисперсних матеріалів широко застосовується у багатьох галузях промисловості, зокрема у металургійній, хімічній, сільськогосподарській, енергетичній та ін.

Основною перевагою пневматичної або повітряної сепарації є її висока ефективність поділу (особливо для матеріалів з високим вмістом пилоподібної фракції). Повітряна сепарація використовується, коли механічне розділення є ускладненим для поділу дрібних порошків (менше 100 мкм), але вона з успіхом використовується і для поділу матеріалів з частинками значно більшого розміру (1-25 мм) з можливістю зміни меж поділу вихідного продукту у процесі роботи [7].

**Аналіз досліджень і публікацій.** Суха або повітряна сепарація – найбільш екологічно чистий та економічний процес. Сьогодні випускається широкий асортимент сепараторів сухого циклу, що працюють у ланцюзі з різноманітним обладнанням: циклонами, магнітними сепараторами сухого поділу, пиловловлювачами тощо.

У відомих роботах [2, 6, 8, 11, 13] було запропоновано декілька варіантів класифікації повітряних сепараторів. Розглянемо найцікавіші з них.

У роботі [13] пропонується систематизація конструкцій на основі використанням ними зон поділу, які розрізняються силами, що використовуються для забезпечення поділу матеріалу. До того ж у роботі наведено класифікацію основних схем сепараторів, у якій узагальнено найважливіші особливості їх конструкції. Попри наведений розгорнутий огляд конструкцій, не для усіх типів сепараторів наведені переваги, недоліки та основні параметри.

Грунтовний огляд існуючих конструкцій повітряних сепараторів, їх параметрів та особливостей роботи наведено у роботі [11]. Слід зазначити, що автори, поряд з іншим, приділили багато уваги опису конструкцій роторних відцентрових сепараторів, однак вони навели тільки конструкції таких сепараторів з позначенням деяких їх параметрів та особливостей конструкції, приділивши недостатньо уваги перевагам та недолікам кожної конкретної конструкції.

У книзі [8] автор наводить класифікацію сепараторів за конструктивним виконанням, що складається з 5 типів. Автор навів опис особливостей конструкцій сепараторів кожного типу, відзначив переваги та недоліки та навів технічні характеристики моделей сепараторів того часу.

У роботах [2, 6] охарактеризовано основні види повітряних сепараторів, але без узагальнюючої класифікації.

**Постановка задачі.** Аналіз та класифікація конструкцій сучасних повітряних сепараторів для сухого поділу дисперсних матеріалів.

**Викладення матеріалу та результати.** Створення класифікації сучасного обладнання для пневматичного розділення сепарації та його подальший аналіз, дає змогу відділити оптимальний сепаратор, конструкція якого є найбільш перспективною для застосування при сухому поділі сировини та піддається збільшенню продуктивності за рахунок впровадження нових технічних рішень.

На основі розглянутих вище наукових робіт та аналізу конструкцій повітряних сепараторів, що випускаються серійно, було розроблено класифікацію елементів їх конструкцій (рис 1).



Рис 1. Класифікація конструкцій повітряних сепараторів

Перша класифікаційна ознака, яка є дуже важливою, це сили, що використовуються при розділенні вихідного матеріалу. Загалом у конструкціях повітряних класифікаторів застосовуються 4 види сил для інтенсифікації поділу вихідного матеріалу. При чому у більшості конструкцій використовуються що найменше дві з них. Чим більше сил застосовується, тим більшою є продуктивність сепаратора. Але, як показує практика, найефективнішим є використання саме відцентрової сили, яка забезпечує найбільшу інтенсифікацію поділу та є добре контролюваною. Слід зазначити, що сила зіткнення часток матеріалу може бути як позитивним так і негативним фактором для збільшення ефективності поділу.

Другою визначальною ознакою конструкцій сепараторів, що істотно впливає на ефективність процесу і фактично визначає загальну конструкцію самого сепаратора, є взаємне розташування векторів сил, що використовуються. Як зазначено у статті [13], найефективнішим є застосування саме схема з відцентрово-поперечним взаємним розташуванням векторів сил, яка характерна для найефективніших на сьогодні роторних повітряних сепараторів завдяки широкому діапазону регулювання динамічного впливу на матеріал.

Наступна ознака, запропонована тими ж авторами [13], визначає тип аеродинамічного циклу і, можна сказати, визначає ступінь вбудованості сепаратора у технологічний ланцюг. Як зазначають автори, сепаратори з внутрішнім циклом, які використовують рециркуляцію повітря та містять пилозбірники, вентилятори та трубопроводи в одному блоці і, отже, вимагають менше виробничих площ і, зазвичай, вимагають менші інвестиції. Натомість сепаратори із зовнішнім циклом, які побудовані незалежно від перелічених вище додаткових систем є простішими

за конструкцією, але комплектування ділянки усіма необхідними технологічними апаратами може з рештою вимагати більших коштів.

Спосіб подачі матеріалу у сепаратор може впливати на сталість його режиму роботи. Зазвичай у сепаратор надходить уже готова суміш повітря з матеріалом напряму від, наприклад, відцентрової дробарки ударної дії. Недоліком такого способу подачі є несталість співвідношення повітря та твердого у такій суміші. Застосування роздільної подачі дає змогу точно контролювати склад суміші, а отже і сталості режиму роботу сепаратора, але, у свою чергу, вимагає додаткового обладнання для попереднього знепилення повітря після подрібнення.

Напрямок подачі матеріалу та розвантаження готових продуктів у проаналізованих конструкціях сепараторів, в основному, залежить від взаємного розташування векторів сил, що використовуються. Так для гравітаційно-протитічної схеми поєднання векторів характерна подача матеріалу зверху або знизу у камеру розділення сепаратора, для гравітаційно-перехресної схеми характерною є горизонтальна або верхня подача матеріалу, для відцентрово-протитічної схеми характерною є подача знизу або тангенційна горизонтальна подача, для відцентрово-поперечної схеми часто застосовується подача знизу, рідше тангенційна горизонтальна подача. У переважній більшості конструкцій розвантаження дрібної фракції відбувається з потоком повітря вгору, а крупної фракції – униз, що зумовлено, серед іншого використання сили тяжіння, як додаткового фактору поділу матеріалу.

Розглянемо класифікацію повітряних сепараторів, наведених у роботі [13] (рис. 2) та доповнимо її, вказавши область використання, переваги, недоліки та основні параметри для кожної групи сепараторів.

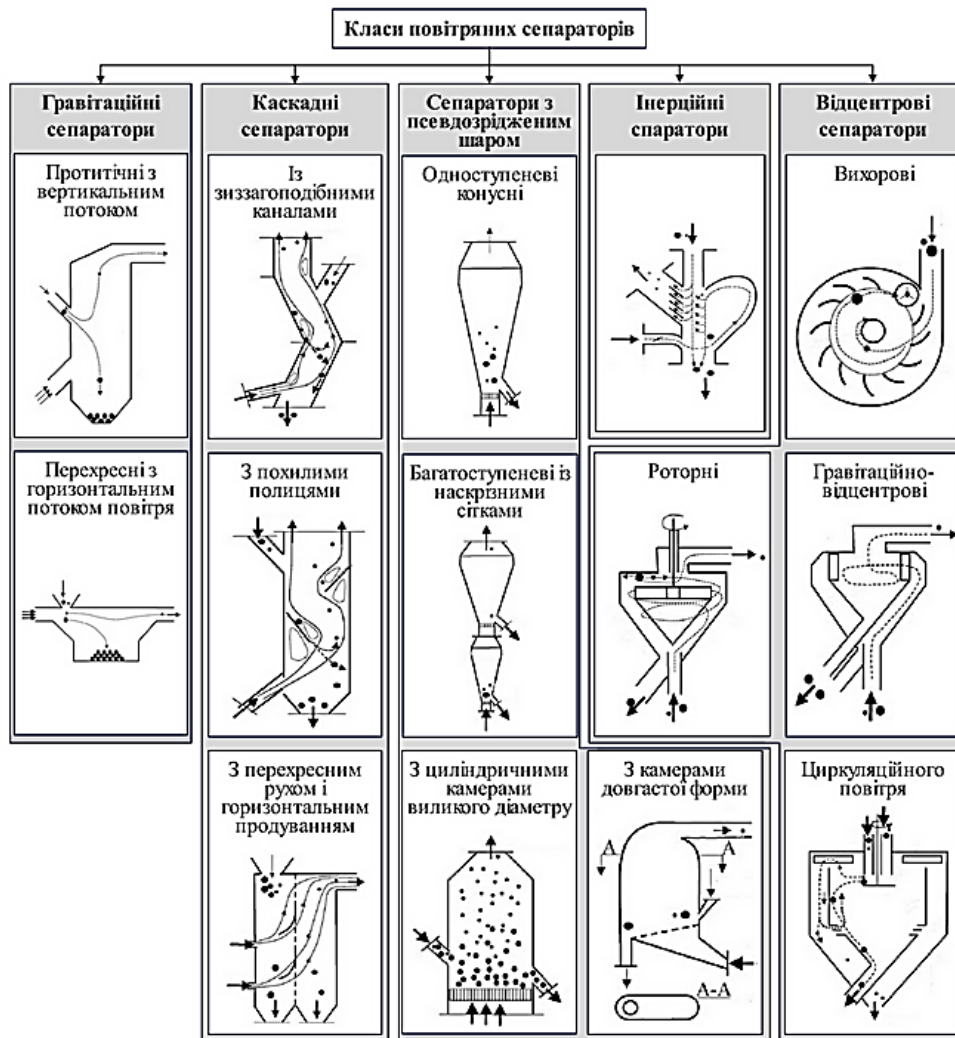


Рис. 2. Класифікація повітряних сепараторів, згідно [13]

Клас гравітаційних сепараторів використовує сили тяжіння та сили аеродинамічного опору для поділу матеріалу і складається з 2-х типів.

*Протитічні сепаратори з вертикальними (висхідними) потоками.* Область використання: поділ грубих сипких матеріалів, що містять два типи частинок, розміри яких сильно різняться. Використовується гравітаційно-протитічне поєднання векторів сили тяжіння та сили аеродинамічного опору. Переваги: прості за конструкцією та відносно дешеві. Недоліки: крупні частинки матеріалу порушують однорідність повітряного потоку і ускладнюють рух дрібних частинок у повітряному потоці, що у свою чергу, знижує загальну ефективність поділу матеріалу [2, 13].

*Перехресні сепаратори з горизонтальним потоком повітря або віялки.* Область використання: поділ твердих частинок за щільністю, а не за розміром (наприклад, очистка зерна від шкірки). Використовується гравітаційно-перехресне поєднання векторів сили тяжіння та сили аеродинамічного опору. Переваги: відсутність рухомих частин; мінімальне обслуговування; відсутність потреби у додатковій пиловловлюючій апаратурі; відсутні викиди відпрацьованого повітря в атмосферу. Недоліки: на ефективність роботи мають суттєвий вплив стохастичні фактори процесу, зокрема невизначеності у живленні та аеродинамічних взаємодіях частинок [13].

Клас каскадних сепараторів, як і попередній, використовує сили тяжіння та сили аеродинамічного опору для поділу матеріалу і складається з 3-х типів.

*Каскадний сепаратор з декількома похилими патрубками прямокутного перерізу, що утворює вертикальний зигзагоподібний канал.* Область використання: поділ залізної руди, різноманітних добрив, пластику, пилу деревини, при збагаченні слюдяної руди тощо з крупністю частинок від 0,1 до 10 мм. Використовується гравітаційно-протитічне поєднання векторів сили тяжіння та сили аеродинамічного опору. Переваги: множинне очищення, яке значно підвищує ефективність поділу. Недоліки: перемішування крупних і дрібних частинок знижує ефективність поділу; високий аеродинамічний опір [12, 13].

*Каскадний сепаратор з декількома похилими полицями на внутрішніх стінках основного каналу.* Область використання: розділення дрібного щебеню, будівельних пісків, мінеральних наповнювачів абразивних порошоків із відсіву дроблення з крупністю частинок від 0,06 – 7 мм. Використовується гравітаційно-протитічне поєднання векторів сили тяжіння та сили аеродинамічного опору. Переваги: перфоровані полиці збільшують інтенсивність контакту фаз, що забезпечує місцеве збільшення швидкості та турбулентності потоку. Недоліки: сильна турбулентність, що утворюється під полицями, призводить до високих перепадів тиску (до 4–5 кПа) та високої енерговитратності цих пристроїв; висока чутливість до вихідної вологості сировини (до 3%) [12, 13].

*Каскадний сепаратор із перехресним рухом, горизонтальним продуванням у вертикальній ємності,* розділеній на сепараційну та осадову камери, які, в свою чергу розділені проникними ґратами з увігнутими полицями. Область використання: поділ подрібненої фосфатної руди фракцією 1 мм. Використовується гравітаційно-перехресне поєднання векторів сили тяжіння та сили аеродинамічного опору. Переваги: практично виключає зіткнення частинок у зоні сепарації, що значно покращує ефективність поділу; завдяки зниженню завихреності, опір повітря та енергоспоживання нижче; не потребує складного сервісного обслуговування; відсутні системи змащення і деталі, що зношуються. Недоліки: в просторі між нижньою кромкою полиці та протилежною їй стінкою шахти утворюється вихроподібний рух матеріалу тільки навколо однієї горизонтальної осі [5, 7, 9, 12, 13].

Клас сепараторів із псевдозрідженим шаром, як і попередні, використовує сили тяжіння та сили аеродинамічного опору для поділу матеріалу і складається з 4-х типів.

*Одноступеневі конусні сепаратори з псевдозрідженим шаром.* Область використання: сушіння дрібнозернистих, пастоподібних та рідких матеріалів, гранулювання, змішування матеріалів з розміром часток від 0,03 до 6 мм. Використовується гравітаційно-протитічне поєднання векторів сили тяжіння та сили аеродинамічного опору. Переваги: легкий контроль та керування процесом розділення; простота конструкції. Недоліки: не підходить для розділення декількох матеріалів з різною щільністю; обмеження на розмір частинок матеріалу; занадто енергоємні [2, 4, 11, 13].

*Багатоступеневі сепаратори із наскрізними сітками.* Область використання: не знайшли широкого застосування на практиці головним чином через їх великий розмір. Використовується гравітаційно-протитічне поєднання векторів сили тяжіння та сили аеродинамічного опору. Пере-



ваги: легкий контроль та керування процесом розділення; висока ефективність розділення через багатостадійність, простота конструкції. Недоліки: великі габаритні розміри; дроблення частинок в результаті ударів о сітку може вплинути на якість продукту; занадто енергоємні [23].

*Сепаратори з циліндричними камерами великого діаметру.* Область використання: розділення піску, хлориду калію та фосфатів з розміром частинок від 50 мкм до 1,5 мм. Використовується гравітаційно-протитічне поєднання векторів сили тяжіння та сили аеродинамічного опору. Переваги: легкий контроль та керування процесом розділення; виключення переподібнення; простота конструкції. Недоліки: циліндрична камера великого діаметра сприяє утворенню мертвих зон всередині киплячого шару далеко від вісі, де частинки не рухаються; занадто енергоємні [4, 11, 12, 13].

*Сепаратори з камерами довгастої (овальної) форми.* Область використання: розділення піску, хлориду калію та фосфатів з розміром частинок від 50 мкм до 1,5 мм. Використовується гравітаційно-перехресне поєднання векторів сили тяжіння та сили аеродинамічного опору. Переваги: хороша стабільність роботи у широкому діапазоні подачі; повністю виключені мертві зони всередині киплячого шару; сітка змінного розміру дозволяє контролювати швидкість викиду грубих часток. Недоліки: не підходить для матеріалів, які легко прилипають до стіни; занадто енергоємні; стирання та подрібнення твердих частинок [7, 12, 13].

Клас інерційних повітряних сепараторів використовує сили тяжіння та сили аеродинамічного опору для поділу матеріалу. Область використання: розділення дрібнодисперсних порошків з розміром частинок від 40 до 400 мкм). Використовується гравітаційно-перехресне поєднання векторів сили тяжіння та сили аеродинамічного опору. Переваги: простота конструкції; немає рухомих частин; висока точність сепарації; невеликі енерговитрати. Недоліки: потік вторинного повітря заважає первинному потоку, що викликає переміщення дрібних частинок в криволінійній камері для змішування з матеріалом у живленні [2, 12, 13].

Клас відцентрових повітряних класифікаторів використовує відцентрову силу і силу аеродинамічного опору для поділу матеріалу і складається з 4 - типів.

*Вихрові повітряні класифікатори.* Область використання: широко використовується для розділення дрібних порошків абразивних матеріалів з крупністю часток від 38 до 150 мкм. Використовується відцентрово-протитічне поєднання векторів сили тяжіння та сили аеродинамічного опору. Переваги: висока надійність та стабільність роботи; низьке енергоспоживання та висока продуктивність; легке технічне обслуговування; можливість обробки абразивних матеріалів; висока ефективність уловлювання тонкодисперсного пилу; можливість регулювання процесу сепарації. Недоліки: відсутність можливості збільшення часу взаємодії важких частинок з повітряним потоком; порушення співвісності потоку з віссю обертання ротаційного розкидача при зміні дозування; необхідність додаткового пристрою для дуття вторинного повітря; у разі використання в якості вторинного атмосферного повітря - підвищення загального обсягу газів, що проходять через апарат; підвищена складність експлуатації апарату [1, 5, 6, 11, 13].

*Гравітаційно-відцентрові повітряні класифікатори.* Область використання: для вилучення асбесту, на цементних та вугільних комбінатах для розділення матеріалів з розміром частинок від 10 до 100 мкм. Використовується відцентрово-поперечне поєднання векторів сили тяжіння та сили аеродинамічного опору. Переваги: порівняно висока ефективність та чіткість розділу сепарованих матеріалів; відсутність потреби у додатковій пиловловлюючій апаратурі; простота конструкції; надійність; легкість в регулюванні; висока продуктивність при відносно малих розмірах. Недоліки: видача грубих продуктів з наявністю в них дрібних фракцій; можливість порушення процесу сепарації через перезволоження повітря; не можливість досягнення високої чіткості розділення матеріалу за граничним зерном; необхідність наявності у схемі подрібнення апаратів для тонкого очищення великих обсягів повітря [1, 2, 6, 11, 13].

*Роторні сепаратори.* Область використання: використовуються для сепарації дрібнозернистих порошків з розміром частинок 20-100 мкм. Використовується відцентрово-поперечне поєднання векторів сили тяжіння та сили аеродинамічного опору. Переваги: широкі межі регулювання розмірів частинок готових продуктів завдяки регулюванню швидкості обертання ротора. Недоліки: можливість порушення процесу сепарації через перезволоження повітря при класифікації матеріалів з підвищення вологості [1, 2, 6, 11, 13].

*Класифікатори циркуляційного повітря.* Область використання: у цементній промисловості, для одержання високоякісних наповнювачів, пігментів, високомарочних цементів, мікрота-

льку та інших матеріалів з крупністю часток від 5 до 100 мкм. Використовується відцентрово-протитічне поєднання векторів сили тяжіння та сили аеродинамічного опору. Переваги: надійність роботи; простота обслуговування; високі показники якості готових продуктів; не вимагають складного технічного обслуговування. Недоліки: досить погане відокремлення пилу від повітря у проміжній зоні, що призводить до накопичення частинок, що знижує їхню ефективність [1, 2, 6, 11, 13].

Грунтуючись на технічних характеристиках розглянутих вище класів повітряних класифікаторів, що випускаються серійно, виокремимо основні параметри, такі як продуктивність та ефективність розділення матеріалу, та представимо їх у виді графіка залежності ефективності розділення матеріалу від продуктивності для різних типів розглянутих повітряних сепараторів (рис. 3).

З наведеного графіка (рис. 3) видно, що мінімальну продуктивність та ефективність поділу мають гравітаційні сепаратори, що використовують тільки дві сили.

Повітряні сепаратори, у конструкціях яких використовуються відцентрова сила та активний ротор, мають найвищі продуктивність та якість розділення. До того ж вони мають глибоку ступінь регулювання процесу розділення. Причому сепаратори циркуляційного повітря мають найкращі показники.

Для сепараторів, що використовують для інтенсифікації поділу матеріалу відцентрову силу, додатковою важливою ознакою конструкції є наявність ротору з лопатями.

Усі низькопродуктивні конструкції сепараторів не мають ротора як такого, тобто не використовують відцентрову силу взагалі (наприклад гравітаційні, каскадні сепаратори та сепаратори псевдозрідженого стану), або використовують з низькою ефективністю (аероциклони). Більшу продуктивність та ефективність мають сепаратори, що використовують відцентрову силу та мають у своїй конструкції статично встановлені лопаті, що сприяють завихоренню потоку повітряно-пилової суміші. І, нарешті, максимальну продуктивність, ефективність та керованість процесу розділення мають сепаратори з ротором, що обертається.

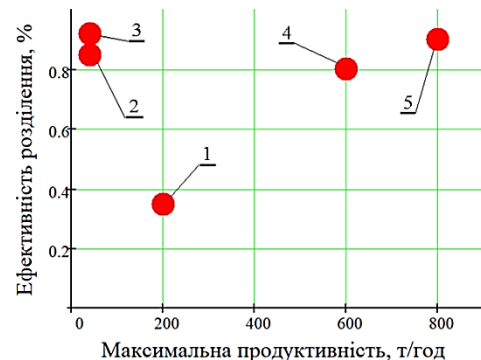
Таким чином, можна стверджувати, що використання у конструкціях повітряних сепараторів відцентрової сили при відцентрово-протитічному поєднанні векторів діючих сил та з ротором, що обертається забезпечує максимальні продуктивність та ефективність розділення матеріалу. Це твердження підтверджено у науковій роботі [10].

**Висновки та напрямок подальших досліджень.** У результаті проведеного аналізу доповнено та розширено відомі класифікації конструкцій сучасних повітряних сепараторів для сухого поділу дисперсних матеріалів. Запропонована класифікація конструктивних елементів повітряних сепараторів на основі проведеного аналізу відомих конструкцій, а також доповнена відома [13] на основі досвіду експлуатації. Встановлено, що використання відцентрової сили та активного ротору у конструкціях повітряних сепараторів забезпечують найвищі показники продуктивності та керованості процесом сепарації, а додавання зони циркуляції значно підвищує ефективність розділення матеріалу.

Проте все ще не розв'язаною залишається основна проблема усього класу відцентрових сепараторів, пов'язана з нестабільністю їх роботи в наслідок перемішування (турбулізації) окремих потоків з різними швидкостями у зоні поділу, а також чутливості до зміни співвідношення повітря-тверде у матеріалі, що надходить у живлення.

#### Список літератури

1. Жидков В.В. Совершенствование процесса разделения тонкодисперсных порошков в классификаторе центробежного типа: дисерт. на соискание учен. степ. канд. тех. наук по спец 05.02.13 -Машины, агрегаты и процессы (строительство). – Белгород, БГТУ им. В.Г. Шухова. 2012. – 215 с.



**Рис 3.** Залежність ефективності розділення матеріалу від продуктивності для різних класів повітряних сепараторів: 1 – гравітаційні сепаратори; 2 – каскадні сепаратори; 3 – сепаратори з псевдозрідженим шаром; 4 – інерційні повітряні сепаратори; 5 – відцентрові повітряні сепаратори

2. **Жихар Г. И.** Котельные установки тепловых электростанций: учеб. пособие. – Минск : Вышэйшая школа, 2015. – 523 с.
3. **Машины и аппараты химических производств: Учебное пособие для вузов/ А.С.Тимонин, Б.Г.Балдин, В.Я. Борщев, Ю.И. Гусев и др. / Под общей редакцией А.С.Тимонина.-Калуга: Издательство Н.Ф.Бочкаревой, 2008.- 872с.**
4. **Ніколаєнко К. В.** Технологія сухого збагачення техногенної сировини у вигляді некондиційних гематитових руд, для отримання з них концентрату з вмістом заліза не менше 62,0% / **К. В. Ніколаєнко, С. О. Червоний, П. К. Ніколаєнко** // Збагачення корисних копалин: науково-технічний збірник. – Дніпро, 2016. – Вип. 63 (104).-С.65-68
5. **Олійник Т.А.** Перспективи розвитку технологій збагачення залізних руд // Збагачення корисних копалин, 2018. - Вип. 69(110).-С.32-44
6. **Рагозина Н.М., Макаренко Д.А., Четвертаков Г.В.** Переработка и утилизация дисперсных материалов и твердых отходов.-М.:Альфа-М, 2013.-464 с.
7. **Сиденко П.М.** Измельчение в химической промышленности.- М: "Химия", 1977.-368 с.
8. **Смышляев Г.К.** Воздушная классификация в технологии переработки полезных ископаемых.-М.: Изд-во «Недра», 1969.- 101 с.
9. **Техніка та технологія збагачення корисних копалин: [навч. посібник]. Ч. 2 : Основні процеси / В. С. Білецький, Т. А. Олійник, В. О. Смирнов, Л. В. Скляр. – Кривий Ріг : ФООП Чернявський Д.О., 2019. – 212 с.**
10. **Шарапов Р.Р.** Совершенствование процесса разделения в воздушном центробежном сепараторе: дисерт. на соискание учен. степ. канд. техн. наук по спец 05.02.13-Машины, агрегаты и процессы (строительство и ЖКХ). – Белгород, БГТУ им. В.Г. Шухова. 2016. – 158 с.
11. **Ivan V. Klumpar, Fred N. Currier, Terry A. Ring.** Air Classifiers // Chemical Engineering, 1986.- march, 3.- pp.77-92.
12. **Kaiser F.** Der Zickzack-Sichter – ein Windsichter nach neuen Prinzip // Symposium Zerkleinern Chemie GmbH.- Weinheim, 1963.-pp.587-605
13. **Shapiro M., Galperin V.** Air classification of solid particles: a review // Chemical Engineering and Processing, 2005.- vol. 44.- pp. 279–285.

Рукопис подано до редакції 20.03.24

УДК 621.311

Ю.В. ШЕРСТНЬОВ, аспірант, Ю.Г. ОСАДЧУК, канд. техн. наук, доц.  
Криворізький національний університет

## **РОЗРОБКА АЛГОРИТМУ ОПТИМІЗАЦІЇ РІВНІВ СПОЖИВАННЯ ЕЛЕКТРИЧНОЇ ЕНЕРГІЇ ПІДСТАНЦІЙ ГІРНИЧО-ЗБАГАЧУВАЛЬНОГО КОМБІНАТУ ЗА ДОПОМОГОЮ ІНТЕЛЕКТУАЛЬНИХ СИСТЕМ**

**Мета роботи.** Розробити алгоритм компенсації реактивної потужності підстанції для зменшення її впливу на електромережу. Передбачається встановлення компенсуючих пристроїв і за допомогою розробленого алгоритму оптимізувати режими їх комутацію. Це дозволить знизити витрати на енергоспоживання, збільшити ефективність та надійність роботи електромережі.

**Методи досліджень.** Проведено аналіз добових рівнів споживання електричної енергії споживачами підстанції за літній та зимовий місяці, проаналізовано рівні навантаження синхронних двигунів. За допомогою теоретичного аналізу та узагальнення результатів досліджень за стандартними та новими методиками розроблено алгоритм роботи системи компенсації та складені нечіткі правила для неї. Виконано моделювання інтелектуальної системи керування споживачами електричної енергії (ФКП та СД).

**Наукова новизна.** Виконано моделювання системи нечіткого керування, із використанням реальних даних про рівні споживання електричної енергії споживачами підстанції гірничо-збагачувального комбінату. Запропонована система дозволяє враховувати необхідні показники для оптимізації рівнів реактивної потужності для досягнення високих показників енергетичної ефективності.

**Практична значимість.** Споживачі електроенергії підстанцій гірничо-металургійного комплексу часто мають нелінійні характеристики навантаження. Наявність напівпровідникових перетворювачів призводить до погіршення якості живлення через наявність вищих гармонійних складових напруги і струму [1, 2], підвищується сплата підприємством за електричну енергію [15]. Таким чином, оператор мережі змушений впроваджувати заходи з компенсації реактивної потужності [8, 9]. Але системи керування, із за невизначеності характеру навантаження та збурень, можливості перекомпенсації, потребують більш складних підходів по реалізації на етапі проектування але простіших дій в подальшій експлуатації. Таке керування може здійснювати система на базі нечіткої логіки.

**Результати.** На прикладі добового споживання електричної енергії наведено результати комп'ютерного моделювання процесу компенсації реактивної потужності на прикладі реальних показників споживання електричної енергії потужних підстанцій гірничо-збагачувального комбінату. Проведено аналіз ефективності використання принципу нечіткого керування. Для тестування авторами були використані експериментальні дані за січень та чер-

**У результаті дослідження** запропоновані напрями формування та використання моніторингу використання земель, враховуючи екологічні аспекти. Вони базуються на сформованій кількісній основі, яка розроблена шляхом оцінки інтегрального показника використання земель, враховуючи вплив екологічних чинників.

Отримані значення інтегрального показника дозволили побудувати моніторингову геопросторову карту, яка дозволило візуалізувати процеси, що відбуваються у сфері використання земель, попереджувати негативні явища на регіональному рівні та своєчасно реагувати на них.

**Ключові слова:** використання земель, моніторинг, геопросторові карти, інтегральний показник, екологічні аспекти, моделі.

**Mamonov K., Vyatkin R., Shterdok E., Nalyvayko T.** Monitoring of regional land use: environmental aspects

**The purpose** of the study is to determine and develop monitoring of land use, taking into account the influence of environmental factors.

To achieve the set goal, the following tasks are solved: to generalize theoretical provisions regarding the definition of land use monitoring, taking into account the influence of environmental factors; to propose a definition of land use monitoring, focusing on environmental aspects; to build a quantitative basis for land use monitoring, taking into account the influence of environmental factors; to develop a monitoring geospatial map of land use, taking into account the influence of environmental factors.

**Research methods.** The article applies general scientific methods of systematization and generalization for the formation and use of regional land use monitoring, taking into account ecological aspects. Special methods are used to create a quantitative basis for decision-making regarding land use monitoring: expertise, the method of analyzing hierarchies, mathematical modeling, and geo-informational analysis.

**Scientific novelty.** The elements of scientific novelty are the processes of forming a multi-level system of indicators for assessing the level of formation and use of monitoring; the improved integral assessment method for determining the level of regional land use, taking into account ecological features; further development of geo-informational modeling of factors influencing the formation and application of regional land use monitoring.

**The practical significance** lies in the determination of the application possibilities of regional land use monitoring, based on the results of geo-informational and mathematical modeling and taking into account the directions of implementation and features of environmental protection.

**As a result of the study**, directions for the formation and use of land use monitoring, taking into account ecological aspects, are proposed. They are based on a quantitative basis, which is developed by evaluating the integral indicator of land use, taking into account the influence of environmental factors.

The obtained values of the integral indicator made it possible to build a monitoring geospatial map enabling visualization of the processes taking place in the field of land use, to warn of negative phenomena at the regional level and to respond to them in a timely manner.

**Keywords:** land use, monitoring, geospatial maps, integral indicator, ecological aspects, models.

УДК 622.767.553

**Хруцький А.О., Франузо М.О.** Аналіз конструкцій повітряних сепараторів для тонкодисперсних матеріалів

**Мета.** Проведення аналізу та розширення відомої класифікації існуючих конструкцій сучасних повітряних сепараторів для сухого поділу дисперсних матеріалів. Створення класифікації сучасного обладнання для пневматичного розділення та його подальший аналіз, дає змогу відділити оптимальний сепаратор, конструкція якого є найбільш перспективною для застосування при сухому поділі сировини та піддається збільшенню продуктивності за рахунок впровадження нових технічних рішень.

**Методи дослідження.** У роботі використано аналіз та узагальнення досвіду відомих досліджень, розробок та конструкцій повітряних сепараторів, що випускаються серійно, аналіз їх відомих класифікацій та особливостей конструкцій.

**Наукова новизна.** Визначено залежність ефективності розділення матеріалу від продуктивності розглянутих класів повітряних сепараторів, що випускаються серійно. Мінімальну продуктивність та ефективність поділу мають гравітаційні сепаратори, що використовують тільки дві сили. Використання відцентрової сили та активного ротору у конструкціях повітряних сепараторів забезпечують найвищі показники продуктивності, керованості процесом сепарації, та ефективність розділення матеріалу.

**Практична значимість.** Доповнено та розширено відому класифікацію конструкцій сучасних повітряних сепараторів для сухого поділу дисперсних матеріалів. Запропоновано класифікація конструктивних елементів повітряних сепараторів на основі проведено аналізу відомих конструкцій та досвіду експлуатації.

**Результати.** Визначено раціональні конструктивні особливості повітряних сепараторів, що дозволяють забезпечити максимальну ефективність розділення, продуктивність та керованість процесом розділення, а саме використання відцентрової сили, активного ротору та зони циркуляції. Видокремлено основну проблему класу відцентрових сепараторів, пов'язану з нестабільністю їх роботи в наслідок перемішування (турбулізації) окремих потоків з різними швидкостями у зоні поділу, а також чутливості до зміни співвідношення повітря-тверде у матеріалі.

**Ключові слова:** повітряні сепаратори, класифікація повітряних сепараторів, відцентрові повітряні сепаратори, гравітаційні повітряні сепаратори, каскадні повітряні сепаратори, повітряні сепаратори із псевдозрідженим шаром, інерційні повітряні сепаратори.

**Khrutskiy A., Franuzo M.** Analysis of designs of air separators for finely dispersed materials

**Purpose.** Analysis and expansion of known classifications of modern designsof air separators for dry separation of dispersed materials. Classification of modern equipment for pneumatic separation and its further analysis makes it possible to separate the optimal separator, the design of which is the most promising for use in dry separation of raw materials and productivity of which can be increased due to introduction of new technical solutions.

**Research methods.** The article uses the analysis and generalization of experience known researches, developments and designs of mass-produced air separators, analysis of their known classifications and features of constructions.

**Scientific novelty.** The dependence of the material separation efficiency on the productivity of mass-produced air separators was determined. Gravity separators that use only two forces have the minimum productivity and efficiency of separation. The use of centrifugal force and an active rotor in the air separators designs provide the highest indicators of productivity, the separation process controllability, and the material separation efficiency.

**Practical significance.** The well-known classification of modern air separators designs for dry separation of dispersed materials has been supplemented and expanded. The structural elements classification of air separators is proposed based on the analysis of known structures and operating experience.

**Results.** Rational design features of air separators have been determined, which ensure maximum separation efficiency, productivity and controllability of the separation process, namely the use of the centrifugal force, an active rotor and a circulation zone. The main problem of the centrifugal separators class is singled out, which is related to the instability of their operation as a result of mixing (turbulization) of individual flows with different speeds in the separation zone, as well as sensitivity to changes in the air-solid ratio in the material.

**Key words:** air separators, air separators classification, centrifugal air separators, gravity air separators, cascade air separators, fluidized bed air separators, inertial air separators.

УДК 621.311

**Шерстньов Ю.В., Осадчук Ю.Г.** Розробка алгоритму оптимізації рівнів споживання електричної енергії підстанцій гірничо-збагачувального комбінату за допомогою інтелектуальних систем

**Мета роботи:** Розробити алгоритм компенсації реактивної потужності підстанції для зменшення її впливу на електромережу. Передбачається встановлення компенсуючих пристроїв і за допомогою розробленого алгоритму оптимізувати режими їх комутацію. Це дозволить знизити витрати на енергоспоживання, збільшити ефективність та надійність роботи електромережі.

**Методи досліджень.** Проведено аналіз добових рівнів споживання електричної енергії споживачами підстанції за літній та зимовий місяці, проаналізовано рівні завантаження синхронних двигунів. За допомогою теоретичного аналізу та узагальнення результатів досліджень за стандартними та новими методиками розроблено алгоритм роботи системи компенсації та складені нечіткі правила для неї. Виконано моделювання інтелектуальної системи керування споживачами електричної енергії (ФКП та СД).

**Наукова новизна.** Виконано моделювання системи нечіткого керування, із використанням реальних даних про рівні споживання електричної енергії споживачами підстанції гірничо-збагачувального комбінату. Запропонована система дозволяє враховувати необхідні показники для оптимізації рівнів реактивної потужності для досягнення високих показників енергетичної ефективності.

**Практична значимість.** Споживачі електроенергії підстанцій гірничо-металургійного комплексу часто мають нелінійні характеристики навантаження. Наявність напівпровідникових перетворювачів призводить до погіршення якості живлення через наявність вищих гармонійних складових напруги і струму [1, 2], підвищується сплата підприємством за електричну енергію [15]. Таким чином, оператор мережі змушений впроваджувати заходи з компенсації реактивної потужності [8, 9]. Але системи керування, із за невизначеності характеру навантаження та збурень, можливості перекомпенсації, потребують більш складних підходів по реалізації на етапі проектування але простіших дій в подальшій експлуатації. Таке керування може здійснювати система на базі нечіткої логіки.

**Результати.** На прикладі добового споживання електричної енергії наведено результати комп'ютерного моделювання процесу компенсації реактивної потужності на прикладі реальних показників споживання електричної енергії потужних підстанцій гірничо-збагачувального комбінату. Проведено аналіз ефективності використання принципу нечіткого керування. Для тестування авторами були використані експериментальні дані за січень та червень 2019 року. Розроблено алгоритм роботи компенсуючими пристроями для регулювання реактивної потужності підстанцій на базі нечіткої логіки.

**Ключові слова:** гірничо-збагачувальні комбінати, мережі живлення, якість електроенергії, енергоефективність, синхронні двигуни, алгоритм, нечітка логіка.

**Sherstnov Yu.V., Osadchuk Yu.G.** Development of an algorithm for optimizing electrical energy consumption levels at mining and beneficiation plant substations using intelligent systems

**Objective:** the study aims to develop an algorithm for compensating reactive power at the substation to reduce its impact on the power grid, to install compensating devices is envisaged and, with the developed algorithm, optimize their switching modes. This will lead to a reduction in energy consumption costs, increased efficiency, and reliability of the power grid operation.

**Research Methods:** An analysis of daily levels of electrical energy consumption by substation consumers was conducted for summer and winter months. The levels of synchronous motor loads were analyzed. Using theoretical analysis and summarizing the results of studies with standard and new methodologies, an algorithm for the operation of the compensation system was developed, and fuzzy rules were formulated. Modeling of the intelligent energy consumption control system (FCD and SM) was performed.

**Scientific Novelty:** Modeling of a fuzzy control system using real data on levels of electrical energy consumption by consumers of the mining and beneficiation plant substation was carried out. The proposed system allows for the necessary indicators to be considered to optimize reactive power levels to achieve high energy efficiency.

**Practical Significance:** Consumers of electricity in mining and metallurgical complexes often have nonlinear load characteristics. Availability of semiconductor converters leads to a deterioration in power quality due to higher harmonic components of voltage and current [1, 2], resulting in increased payments by the enterprise for electrical energy [15]. Thus, the network operator is forced to implement reactive power compensation measures [8, 9]. However, due to uncertainty of the load nature

**Збірник наукових праць**

*В і с н и к*  
*Криворізького національного університету*

**Випуск 58**

Комп'ютерний набір, верстка

Підпригора Н.П.

Підписано до друку 26.04.24 за рекомендацією Вченої Ради  
Криворізького національного університету, протокол № 10 від 23.04.2024 року  
Формат 60×84/8. Ум. друк. арк. 21,86 Тираж 100 прим.  
Замовл. № 10. Укр., англ.

Надруковано:  
ФОП Сінельников Дмитро Анатолійович  
Свідоцтво ДК № 6780 від 29.05.2019р.  
50027, м. Кривий Ріг,  
пр. Металургів, 30/49  
тел. (067)773-37-17

*Адреса видавництва:*  
*вул. Віталія Матусевича, 11, Кривий Ріг, 50027*

*Криворізький національний університет, 2024.*  
*Вип. 58, С. 3-188*