

УДК 62-79

**ВИЗНАЧЕННЯ КОЕФІЦІЄНТІВ ЛОБОВОГО ОПОРУ ТА
ВИВЧЕННЯ ПОВЕДІНКИ СТРИЖНІВ У ВИСХІДНОМУ
ПОТОЦІ ПОВІТРЯ**

Малєєв В.Б., докт. техн. наук, проф.,
Парфенюк О.С., канд. техн. наук, проф.,
Кудрявцев О.О., аспірант

Донецький національний технічний університет

Вирішується задача вивчення поведінки та аеродинамічних характеристик фракцій твердих побутових відходів в залежності від їх форми.

The problem of studying of behaviour and aerodynamic characteristics of fractions of firm household waste products is solved depending on their form.

Проблема та її зв'язок з науковими і практичними задачами.

Проблема утилізації твердих відходів промислового та побутового походження набуває в теперішній час все більш гострий характер у зв'язку з тим, що об'єми виробництва відходів постійно зростають, в той час як темпи їх переробки значніше менше.

Існуюча практика поховання твердих побутових відходів (ТПВ) на звалища – мало перспективне рішення. Кількість офіційних міських звалищ на Україні перевищує 770. В багатьох містах відчувається недостатність завалочних місць. Вивіз на звалища мільйонів тон ТПВ вилучає з обороту величезні площі родючих земель.

Переробку ТПВ на Україні здійснюють лише три спеціалізованих заводи (в Києві, Харкові та Дніпропетровську), які знешкоджують менш 10% утворюваних відходів. З активних методів утилізації відходів домінуючим є спалювання (кожна тонна відходів дає місту біля 1 гікакалорії теплової енергії, що заощаджує приблизно 150 кг палива). Попереднє розділення ТПВ дасть можливість повніше використовувати енергопотенціал відходів при термопереробці. Усування пляшок, а також інших пластмасових виробів з загальної купи ТПВ дозволить знизити шкідливі викиди при наступному спалюванні сміття та зменшити вартість очисних споруджень, що складає зараз до 50% капітальних вкладень при будівництві сміттєпереробних заводів.

Аналіз досліджень та публікацій. На відміну від збагачування корисних копалин, збагачення ТПВ має безпосереднє ресурсозберігаюче значення – не потрібне проведення розвідувальних робіт і добування, а вихід хвостів збагачення завжди менше кількості вихідної сировини.

Найбільш прийнятними є “сухі” способи розділення ТПВ (дроблення проводиться “в суху”, а розділення по фракціям – за допомогою аеросепараторів, грохотів, магнітних сепараторів або іншими методами, але без застосування рідинного середовища). Перевага таких методів – це відсутність забруднених стічних вод (очищення яких або видалення вирішуються звичайно з труднощами та потребують великих фінансових затрат) та суттєве зменшення різкого неприємного запаху [1].

Різноманітність і нестабільність властивостей ТПВ негативно відбивається на роботі обладнання. Це перешкоджає створенню ефективних і універсальних засобів збагачення побутових відходів, вилучаючи сепарацію ТПВ в самостійну наукову та інженерну проблему.

Незважаючи на це, сьогодні багато фірм пропонують своє обладнання для оснащення ділянок аеросепарації твердих побутових відходів: Mogensen GmbH & Co KG, Kraus Maffei, Doppstadt (Німеччина), IFE (Австрія), British Rema (Велика Британія) та інші. Однак вартість іноземних установок дуже висока: від 500 тис. євро (б/у) до 2,5 млн. євро (нова). Продуктивність існуючих установок, розроблених в країнах СНД, складає 12-25 тонн/годину по масі, що завантажується [2] – це не зовсім відповідає промисловим об'ємам виробництва.

Відносні успіхи в роздільному зборі сміття можуть породити ілюзію, що цим методом можна вирішити проблему ТПВ. Однак численні дослідження як у нашій країні (наприклад, програма “Тасіс” Євросоюзу в Донбасі) так і за кордоном показали малоперспективність та нерентабельність сортування всіх ТПВ на місці їх утворення в побутових умовах (слабка активність населення, великі трудовитрати, практична неможливість повсюдного впровадження) та неможливість вирішення цим методом проблеми вже накопичених ТПВ. Очевидно, що із-за величезної кількості ТПВ проблема не може бути вирішена непромисловими методами. Тем не менш, збір у населення відсортованої, незабрудненої вторинної сировини не суперечить промисловій переробці ТПВ, а повинен розглядатися як складова частина в рішенні комплексної проблеми твердих побутових відходів.

Аналіз досліджень та публікацій [3, 4, 5, 6] показує, що над проблемою сепарації ТПВ працюють у всіх ведучих країнах світу. В раніш проведених дослідженнях [7] різними вченими застосовувались різні зразки: частинки неправильної форми, кулі, ізометричні тіла (куби, октаедри), диски. Однак в цих дослідженнях форма тіла грає другорядну роль, що не дозволяє побачити цілісну картину поведінки тіл в залежності від їх форми.

Постановка задачі. В нижченаведеній статті вирішується задача вивчення поведінки та аеродинамічних характеристик фракцій відходів (в першу чергу – коефіцієнтів лобового опору) в залежності від їх форми.

Викладення матеріалу та результати. Проектуванню будь-яких апаратів та установок для сепарації повинно передувати визначення та аналіз властивостей збагачуваних матеріалів.

Поведінка важких часток суміші при повітряній сепарації визначається в основному масовими силами – силою ваги та інерції, що пропорційні до маси частки. На поведінку легких компонентів визначальний вплив робить підйомна аеродинамічна сила – рівнодіюча всіх нормальних і тангенційних сил, розподілених по поверхні частки, що знаходиться у повітряному потоці. Аеродинамічна сила залежить як від параметрів часток, так і від параметрів повітряного потоку і пневмосепаруючої системи в цілому. До параметрів частки можна віднести форму, розміри, стан поверхні та положення в потоці, до параметрів потоку – швидкість та його напрямок, ступінь турбулентності, рівномірність та ширину потоку.

Результуюча сила тиску (опір тиску) спрямована в бік повітряного потоку та цілком залежить від форми тіла. Крім того, внаслідок в'язкості повітря виникають тангенційні сили або сили тертя, які діють з боку потоку на обтічну частку. Сума сил опору тертя та тиску являє собою лобовий опір частки. Співвідношення між цими складовими різне і залежить в тому числі від форми тіла. Дослідження виконані на експериментальній установці. Початок досліджень полягає у вивченні поведінки циліндрів з різним співвідношенням довжини до діаметра ($l:d$). Такий підхід дозволяє дослідити поведінку та аеродинамічні властивості тіл з формою від пластинчатих (співвідношення $l:d \rightarrow 0$) до тонкострижньових (співвідношення $l:d \rightarrow \infty$).

Однією з найважливіших характеристик, що визначаються під час проведення аеродинамічних іспитів, є коефіцієнт лобового опору [1]. Він залежить від площі перерізу тіла, від його щільності та фор-

ми. В якості зразків для проведення аеродинамічних випробувань було обрано тіла з співвідношенням довжини до діаметра $l:d = 1:1, 2:1, 3:1, 4:1$ та $1:3$. Матеріал зразків - дерево (щільність $\rho = 166 \text{ кг/м}^3$). По кожному типорозміру проводилася серія з 10 досліджень. Зразки мають однакову щільність, але площа перерізу у кожного типорозміру різна. При витанні в каналі установки, зразки постійно змінювали кут нахилу до напрямку потоку. Тому площа перерізу для кожного типорозміру зразка змінювалась в межах від $\pi \cdot d^2/4$ (площа перерізу зразка, коли його вісь розташовано паралельно напрямку потоку) до $l \cdot d$ (площа перерізу зразка при розташуванні його вісі перпендикулярно напрямку потоку).

Виходячи з цього, необхідно зазначити, що й значення коефіцієнтів лобового опору будуть змінюватись у відомих границях.

При умові рівноваги сили тяжіння і підйомної сили, знаючи швидкість витання, за допомогою формул F_T та F_n [1] можна вивести рівняння для знаходження коефіцієнта лобового опору. Він буде дорівнювати:

$$C_a = \frac{2 \cdot V \cdot \rho_T \cdot g}{\rho_r \cdot V_{B2}^2 \cdot H} \quad (1)$$

де C_a – коефіцієнт лобового опору;

V – об'єм матеріалу, м^3 ;

ρ_T і ρ_r – щільність відповідно матеріалу і газу, кг/м^3 ;

V_{B2} – швидкість витання частки, м/с ;

H – площа поверхні, м^2 .

Після відповідних розрахунків були отримані результати, наведені в таблиці 1.

Таблиця 1 – Середнє значення коефіцієнта лобового опору C_a для зразків з різним співвідношенням $l:d$

Співвідношення $l:d$	1:1	2:1	3:1	4:1	1:3
Середнє значення коефіцієнта лобового опору C_a	38,64	113,5	222,0	467,2	6,560

Результати експериментальних досліджень поведінки тіл в залежності від наповненості перетину каналу сепаратора надані на рис.1. В одних завантаження складалося з $n=5$ зразків («мала серія»), в інших з $n=10$ («велика серія»). До проведення досліджень було висунуто гіпотезу про те, що швидкості віднесення останніх п'яти зразків «великої серії» будуть такими ж, як і швидкості для зразків «малої серії». Однак із рисунка 1 видно, що швидкості віднесення в «малій серії» вище.

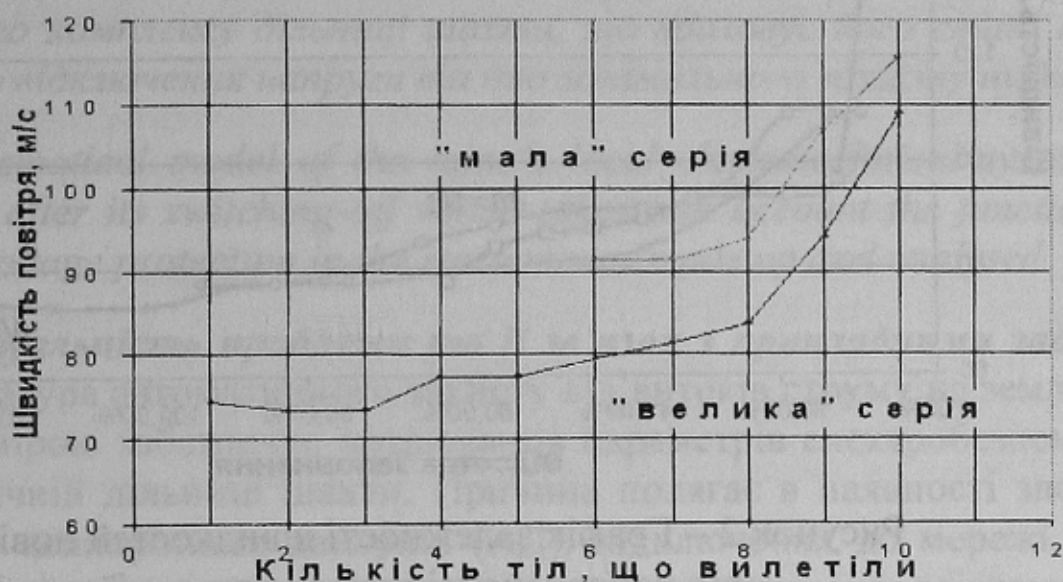


Рисунок 1 – Поведінка тіл з «малої» та «великої» серій

Залежність необхідної для віднесення тіл швидкості повітря ($V_{вз}$) від заповнювання перетину, що продуває, відображена на рисунку 2. З нього видно, що зі збільшенням відсотка заповнення перетину швидкість віднесення тіл майже монотонно зменшується.

Це можна пояснити тим, що по мірі віднесення тіл з каналу установки відбувається зміна заповнювання його перетину в межах

$$\text{від } ((\pi \cdot D^2/4) - n \cdot \pi \cdot d^2/4) \text{ до } ((\pi \cdot D^2/4) - n \cdot l \cdot d),$$

де $\pi \cdot D^2/4$ – площа незаповненого перетину каналу установки;

$\pi \cdot d^2/4$, $l \cdot d$ – площа перетину циліндричного тіла, коли його вісь розташовано відповідно співосно або перпендикулярно напрямку потоку;

n – кількість зразків, що залишилися, у каналі.

При заповненні перетину на 250% і вище (три шари матеріалу) утрудняється перехід тіл від стану спокою до витання. Крім того, при такому заповненні витання відразу переходить у масове віднесення

тіл (без подальшого збільшення швидкості повітря), що унеможливує їхній поділ.

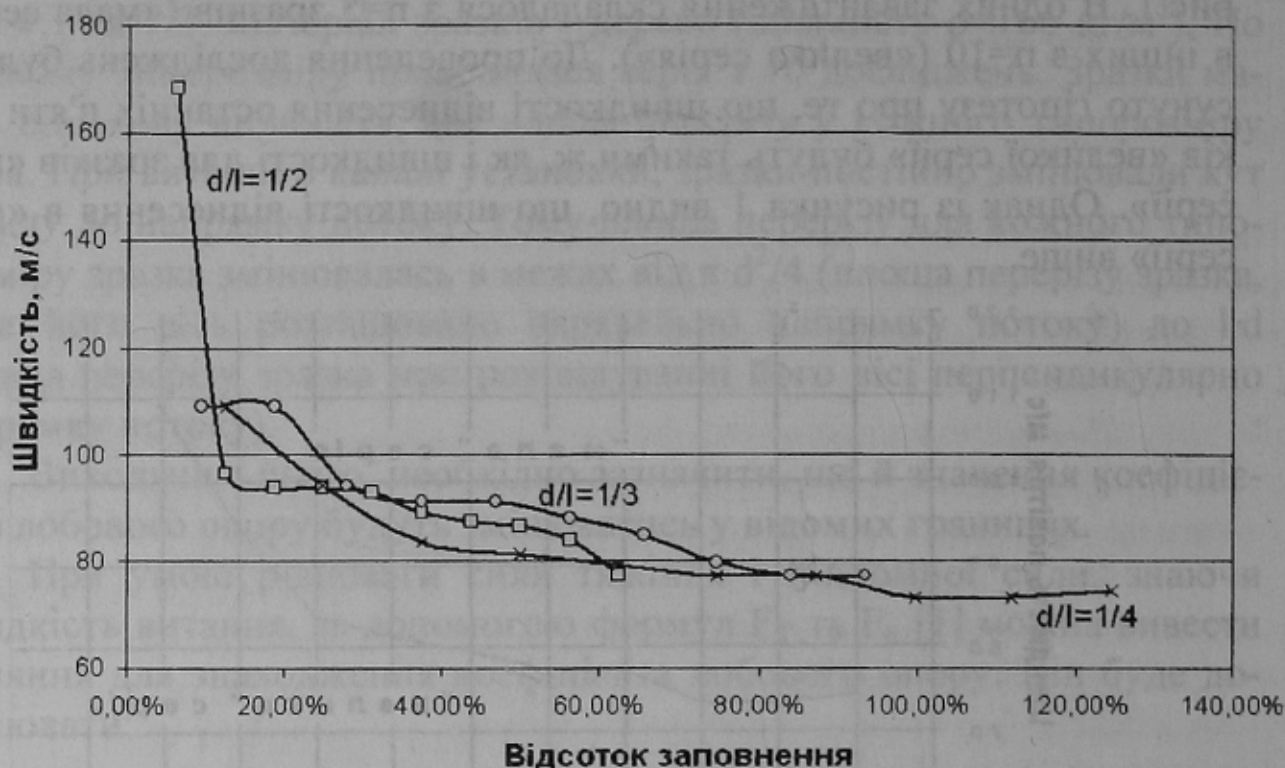


Рисунок 2 – Графік залежності швидкостей повітря від наповненості каналу сепарації

Висновки і використання результатів. Для дослідженої сукупності тіл аеродинамічний поділ з мінімальною швидкістю повітря (а отже і з найменшими витратами енергії) забезпечується при заповнюванні перетину каналу установки на (150-200)%. Ми вважаємо, що через відмінність, наприклад, адгезійних властивостей, цей відсоток може бути неоднаковим для різних сумішей. Тому метою подальших досліджень є встановлення факторів, що впливають на процес аеросепарації.

Перелік джерел.

1. Шубов Л.Я., Ройзман В.Я., Дуденков С.В. Обогащение твердых бытовых отходов. – М.: Недра, 1987. – 238 с.
2. Тимонин А.С. Инженерно-экологический справочник. Т. 3. – Калуга: Издательство Н. Бочкаревой, 2003. – 1024 с.
3. АС № 1606208 (СССР). МКИ⁵ В 07 В 4/02. Пневмосепаратор/ Оpubл. 15.11.90. Бюл. № 42. – 3 с.
4. АС № 1688940 (СССР). МКИ⁵ В 07 В 7/04, 4/08. Установка для динамического воздушно-сухого обогащения материалов/ Оpubл. 07.11.91. Бюл. № 41. – 3 с.
5. АС № 1569042 (СССР). МКИ⁵ В 07 В 7/04, В 02 С 21/00. Установка для обогащения материалов/ Оpubл. 07.06.90. Бюл. № 21.
6. АС № 1532089 (СССР). МКИ⁵ В 07 В 7/00, 4/08. Пневмосепаратор/ Оpubл. 30.12.89. Бюл. № 48.
7. Шохин В.Н., Лопатин А.Г. Гравитационные методы обогащения. М.: Недра, 1980, 400 с.