

УДК 697.628

В.В. Афтанюк, К.А. Розов

Одеська державна академія будівництва та архітектури, м. Одеса

МОДЕЛЮВАННЯ ВЕНТИЛЯЦІЇ ДЛЯ ВІДДІЛЕННЯ СОРТУВАННЯ ТВЕРДИХ ПОБУТОВИХ ВІДХОДІВ

Проектування систем вентиляції у відділеннях по сортуванню твердих побутових відходів потребує особливої уваги до забезпечення параметрів внутрішнього повітря на робочих місцях сортувальників. Підвищення ефективності вентиляції можливе шляхом застосування додаткового припливного пристрою. В рамках дослідження авторами запропонована блокова математична модель вентиляції робочих місць сортувальників твердих побутових відходів для модернізованої системи вентиляції з додатковим припливним пристроєм. Використання розробленої моделі дозволяє провести розрахунок раціональних режимів роботи модернізованої системи вентиляції і параметрів внутрішнього повітря.

Ключові слова: вентиляція робочих місць при сортуванні твердих побутових відходів, моделювання промислової вентиляції, аеродинамічна модель струминних течій, модернізація систем вентиляції.

Постановка проблеми

У сучасних умовах, коли дія економічної кризи посилюється екологічною кризою, привертають до себе увагу проблеми поводження з різними видами відходів, включаючи і тверді побутові відходи (ТПВ). Процес поводження з ТПВ чинить вплив на довкілля та здоров'я людей, зачіпаючи інтереси багатьох економічних суб'єктів, які беруть у ньому участь [1].

За даними «Мінрегіонбуду», в Україні щорічно утворюється близько 11 млн. т ТПВ, 90% яких опиняються на сміттєвих звалищах. Це при тому, що не менше 60% цих відходів становить найбільш ліквідне вторинна сировина: комбінована упаковка, полімерні і синтетичні матеріали, папір та картон, скло, метал і т.п. [2].

Майже в усіх країнах Європи діють суворі правила щодо сортування сміття для його подальшої переробки. Найбільших успіхів у вирішенні цієї проблеми домоглися Швейцарія, Німеччина і Швеція, де люди самі попередньо сортують понад 80% відходів. У Данії, Бельгії, Швейцарії, Нідерландах, Австрії, Франції, Італії, США та Японії не тільки сортують відходи, але і використовують тверде сміття як вторинну сировину [3].

Впровадження сучасних методів переробки сміття в Україні на спеціалізованих підприємствах безпосередньо пов'язані з забезпеченням безпечних умов праці.

Безпека працівників на виробництві, визначає актуальність задачі обґрунтованого впровадження ефективних систем вентиляції у відділеннях сортування ТПВ.

Від надійності роботи систем вентиляції залежить чистота повітря в робочому просторі, та кількість шкідливих викидів в атмосферу [4].

Тобто системи вентиляції приміщень сортування ТПВ вирішують два основні завдання: видалення відпрацьованого повітря, в якому можуть знаходитися шкідливі речовини, і подача свіжого повітря в робочу зону згідно вимогам нормативних документів та параметрам технологічного процесу.

Аналіз останніх досліджень і публікацій

Питання організації вентиляції виробничих приміщень розглянуто в роботах видатних вчених, таких як В.Н. Богословський, Л.Д. Богуславський, Грімтлін М.І., О.Я. Кокорін, Римкевіч А.А. та ін. В цілому питання вдосконалення систем промислової вентиляції знайшли відображення у працях багатьох закордонних, українських науковців і провідних фахівців, зокрема Goodfellow Н. D., Батуріна В.В., Беккера А., Журавльова В.П., Саранчука В.І., Щекіна І.Р., В.Н. Посохіна, Стороверова І.Г., Шиллера Ю.І.

На основі огляду і аналізу досвіду проектування промислових систем вентиляції, можна зробити обґрунтований висновок, що оптимальна організація роботи систем вентиляції у відділенні по сортуванню ТПВ повинна бути спрямована на одночасне вирішення двох завдань:

- для ефективної роботи сортувальників в приміщенні, сформована структура повітряного потоку повинна забезпечити рівномірний тепловологістний режим на робочому місці (рівномірний розподіл швидкостей потоку);

- крім того, надходження пилогазового потоку в область дихання сортувальника, повинно бути максимально обмежено ефективною роботою припливно-витяжних систем вентиляції.

Метою цієї статті є розробка блокової математичної моделі щодо моделювання вентиляції робочих місць у відділенні сортування твердих побуто-

вих відходів для забезпечення раціональних метеорологічних параметрів внутрішнього повітря та поліпшення умов праці.

Виклад основного матеріалу

Для забезпечення ефективної вентиляції сортувального відділення ТПВ запропонована модернізована схема (рис. 1), яка включає в себе додатковий розподільник повітря розташований під сортувальним столом. Додатковий повітророзподільник створює додатковий «бар'єр» для проникнення дрібнодисперсного пилу в зону дихання сортувальника і дозволяє сформувати потік повітря, що видаляється в витяжний зонт.

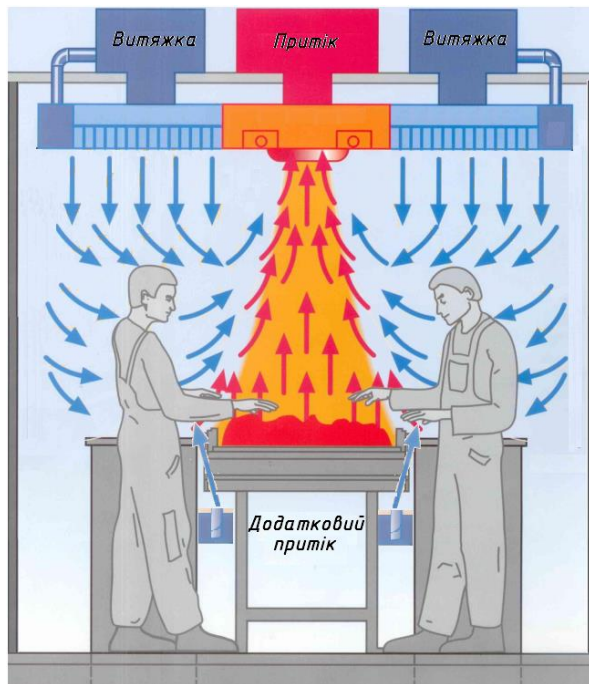


Рис. 1. Принципова схема модернізованої системи вентиляції сортувального відділення ТПВ.

Обґрунтована практична реалізація запропонованої модернізованої системи мікроклімату відділення по сортуванню ТПВ повинна виконуватися на підставі чисельного моделювання яке допоможе визначити основні параметри системи: обсяг, швидкість і температуру припливного і повітря, що видаляється, геометричні розміри елементів, які забезпечують комфортні умови для робітників.

Для проведення чисельного моделювання роботи систем мікроклімату у відділенні по сортуванню ТПВ об'єкт дослідження раціонально розбити на ряд взаємопов'язаних окремих моделюють блоків.

На першому етапі розглядається модель процесу руху повітряних мас і руху частинок біля сортувального столу.

Для визначення закономірностей розподілу часток біля сортувального столу, можливо, вважати, що протягом потенційне, нестисливої і описується

рівнянням Лапласа $\Psi_{\Delta} = 0$, де швидкість визначається через потенціал швидкості Ψ [5]. Такий підхід є поширеним при описі самих різних течій. Тому в даному випадку можна обмежитися рівнянням плоского течії:

$$u = \frac{\partial \Psi}{\partial x}, w = \frac{\partial \Psi}{\partial z}$$

На другому етапі для забезпечення оптимальної аеродинамічної структури припливного повітря необхідно провести розрахунок вільної ізотермічної струменя (над робочим місцем сортувальника).

Основний припливне повітря надходить на робоче місце сортувальника через стельовий повітророзподільник круглого перетину (рис. 1). На підставі аналізу моделей наведених у роботах [6, 7] можна обґрунтовано вважати, що для розрахунку притон течії моделює блок «основний припливне потік» повинен включати:

1. Рівняння Нав'є - Стокса для нестисливої рідини без урахування градієнта тиску [7]:

$$\begin{aligned} \frac{\partial V_i}{\partial t} + V_k \frac{\partial V_i}{\partial x_k} = \\ = F_i - \frac{1}{\rho} \frac{\partial p}{\partial x_i} + \nu \nabla^2 V_i, \quad \frac{\partial V_k}{\partial x_k} = 0 \\ (i, k = 1, 2, 3). \end{aligned}$$

2. Рівняння нерозривності для нестисливої рідини [8]:

$$\frac{dp}{dt} + \rho \operatorname{div} \mathbf{V} = 0.$$

3. Рівняння енергії для нестисливої рідини [9]:

$$c_p \frac{dT}{dt} = \epsilon + \Phi + k \Delta T.$$

На третьому етапі раціонально провести розрахунок аеродинаміка плоскою припливної струменя з щільного отвору, який відсікає потрапляння пилових частинок з транспортерної стрічки (додатковий припливне потік).

Модель струменевої течії що подається з додаткового щільного отвору може бути представлена у вигляді плоскої неізотермічній струменя, яка розвивається на кордоні двох повітряних мас, що мають різну температуру. Перепад тисків зовні і всередині струменя призводить до відхилення осі струменя від початкового напрямку, що може призвести до відриву кордонів струменя від краєвих щільного отвору. Цього небажаного явища можна уникнути, правильно підібравши швидкість випуску повітря з щільності і підібравши кут осі струменя відносно площини прорізу.

Рівняння осі повітряного струменя для випадку постійної різниці тисків по довжині щільності між зовнішнім і внутрішнім повітрям отримано у [10] в припущенні, що витрати повітря, підсмоктується до струменя, однакові, що $\rho_v \approx \rho_{вн} \approx \rho_n \approx \rho$, а закономірності розподілу швидкостей по перетину струменя відповідають ізотермічній струмені. Результати

розрахунку за пропонованим способом дають хорошу збіжність з даними [11].

Рівняння осі плоскої вертикальної струменя, що формується під дією змінного по висоті перепаду тисків має вигляд:

$$y_{\text{верт}} = x \operatorname{tg} \alpha - A_{\text{верт}} x^2 + B_{\text{верт}} x^3,$$

$$\text{де } A_{\text{верт}} = \frac{p_{\text{н макс}} - p_0}{2b_0 \rho_0 v_0^2 \cos \alpha}, \quad B_{\text{верт}} = \frac{\Delta p}{6b_0 \rho_0 v_0^2 \cos \alpha}.$$

Тут $p_{\text{н макс}}$ - максимальний тиск повітря із зовнішнього боку струменя (у підлоги); Δp - різниця щільності зовнішнього і внутрішнього повітря. З наведеного рівняння для $y_{\text{верт}}$, отримана формула, що дозволяє розрахувати початкову швидкість струменя v_0 , яка забезпечує прохід осі через точку із заданими координатами x_1, y_1 (для вертикальних струменів при направленні струменя знизу вгору):

$$v_0 = x_1 \sqrt{\frac{\Delta p_{\text{макс}} - \frac{1}{3} \Delta p g x_1}{2b_0 (x_1 \operatorname{tg} \alpha - y_1) \rho \cos \alpha}};$$

У четвертому модельному блоці необхідно розглянути модель процесу видалення повітря через витяжний парасоль, яка враховує кількість і температуру повітря, що видаляється з приміщення.

В основі чисельної моделі лежить алгоритм який продемонстрував свою ефективність для широкого кола завдань [7]. Усередині розрахункової області задаємо положення вентиляційного зонту, і транспортерної стрічки набором координат. В якості початкового стану вибираємо момент одночасного включення потоку повітря від транспортерної стрічки, і вентиляційного зонту. Рух повітря в зоні витяжного отвору зонту описується системою рівнянь:

$$\frac{\partial \rho}{\partial t} + \operatorname{div}(\rho \cdot \vec{u}) = Q(x, z),$$

$$\frac{\partial \vec{u}}{\partial t} + (\vec{u} \cdot \nabla) \cdot \vec{u} = \frac{\nabla p}{\rho} + Q_u,$$

$$\frac{\partial p}{\partial t} + \vec{u} \cdot \nabla p + \gamma \cdot p \nabla \vec{u} = Q_E,$$

де ρ - щільність повітря; p - тиск; $\vec{u} = \{u_x, u_z\}$ - вектор швидкості; $\gamma = 1,42$ - показник адіабати; ∇ - диференціальний оператор Набла; Q, Q_u, Q_E - функції джерел.

Висновки

В рамках дослідження авторами запропоновано підхід до моделювання вентиляції робочих місць у відділенні сортування твердих побутових відходів.

Розроблена модифікована математична модель повітрообміну у відділенні по сортуванню ТПВ має блокову структуру та включає в себе 4 блоки.

Проведення розрахунків на розробленій моделі допоможуть визначити раціональні режимні та конструктивні параметри роботи системи вентиляції сортувального відділення ТПВ.

Література

1. Хижнякова Н. О. Забезпечення ефективності інвестицій у сферу поводження з твердими побутовими відходами як фактор стабілізації розвитку соціоєкосистем / Н. О. Хижнякова // *Продуктивні сили і регіональна економіка* : [збірн. наук. праць]. – Київ : РВПС України НАНУ, 2001. – Част. 2. – С.157-165.
2. Міністерство регіонального розвитку, будівництва та житлово-комунального господарства України. Офіційний сайт [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <http://www.minregion.gov.ua/news/>.
3. Державне підприємство "Укресресурси". Офіційний сайт [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <http://www.uecr.gov.ua/ua/news/>.
4. Санитарная очистка и уборка населенных мест. Справочник / [Текст] под ред. Мирного А.Н. – М., 2005.
5. Батурич, В. В. Основы промышленной вентиляции [Текст] / В. В. Батурич. – М.: Профиздат, 1990.
6. Industrial Ventilation. Design Guidebook. – London: Academic Press, 2001. – 1520 с. – ISBN: 0-12-289676-9.
7. Ландау, Л. Д. Гидродинамика / Л. Д. Ландау, Е.М. Лившиц. М.: Наука, 1986.
8. Абрамович, Г. Н. Прикладная газовая динамика [Текст] / Г. Н. Абрамович. М.: Наука, 1976.
9. Альтигуль, А. Д. Гидравлика и аэродинамика: учеб. для вузов [Текст] / А. Д. Альтигуль, Л. С. Животовский, Л.П. Иванов. М.: Стройиздат, 1987.
10. Фукс, Н. А. Механика аэрозолей [Текст] / Н. А. Фукс. М.: АН СССР, 1955.
11. Баренблат, Г. И. Движение взвешенных частиц в турбулентном потоке [Текст] / Г. И. Баренблат. М.: Металлургия, 1979.

Рецензент: д-р техн. наук, проф. Г.А. Баласанян, Одеський національний політехнічний університет, Одеса.

Автор: АФТАНІЮК Валерій Валентинович
Одеська державна академія будівництва та архітектури, Одеса, доктор технічних наук, професор.
E-mail – valera2187@ukr.net

Автор: РОЗОВ Костянтин Аркадійович
Одеська державна академія будівництва та архітектури, Одеса, аспірант
E-mail – natalym@rambler.ru

MODELING VENTILATIONS FOR WORKSHOP FOR THE SORTING OF SOLID WASTE

V.V. Aftaniuk, K.A. Rozov

Design of ventilation systems in workshops for sorting of municipal solid waste requires special attention to the parameters of indoor air. Improving the efficiency of ventilation can make an additional inlet air flow. In the study, the authors propose a mathematical model ventilation jobs sorting of municipal solid waste for upgraded ventilation system with an additional intake ventilation unit. Using the developed model allows to calculate the rational modes ventilation and indoor air parameters.

Keywords: ventilation jobs in sorting of municipal solid waste, industrial ventilation modeling, aerodynamic model of the jet streams, upgrading ventilation systems.