

МОДЕЛЮВАННЯ ГІДРОДИНАМІЧНИХ ПРОЦЕСІВ В СИСТЕМІ ОЧИЩЕННЯ ПРОДУКТІВ ЗГОРАННЯ В ПІРОЛІЗНІЙ УСТАНОВЦІ ДЛЯ УТИЛІЗАЦІЇ ВІДХОДІВ

Вінницький національний технічний університет

Анотація

Дана стаття присвячена теоретичному дослідженню методом чисельного моделювання гідрогазодинамічних процесів, як основні робочі процеси, що протікають в системі очищення продуктів згорання інерційного типу в піролізній установці для утилізації відходів. Методом скінчено-об'ємних елементів були визначені основні залежності гідрогазодинамічних параметрів несучого і дисперсного середовищ, що дозволило оцінити ефективність розробленої конструкції системи очищення інерційного типу піролізної установки для утилізації відходів.

Ключові слова: побутові відходи, утилізація, очистка, циклон, дисперсне середовище.

Abstract

This article is devoted to the theoretical study of the numerical simulation method for hydrogasprocesses as the main working processes in the cleaning system of the inertial type of combustion products in a pyrolysis plant for recycling. The finite element method were determined according to the basic parameters of hydro-carrier and dispersed environments, allowing to evaluate the efficiency of the developed structure for the inertial type pyrolysis plant treatment system for waste disposal.

Keywords: waste, recycling, cleaning, cyclone, dispersed environment.

Вступ

Високий вміст в атмосферному повітрі різних забруднювачів несприятливо позначається на всьому комплексі живої природи. Негативний вплив забруднення атмосфери виражається в погіршенні здоров'я людей і тварин, зниженні врожайності сільськогосподарських культур і продуктивності тварин.

Основну роль в забрудненні атмосферного повітря відіграють технологічні процеси на базі органічного палива і становлять близько три четверті сумарних шкідливих викидів усієї промисловості. До основних таких забруднюючих чинників відноситься технологічний процес піролізної утилізації відходів людської життєдіяльності. Незважаючи на те, що утилізація сміття піролізним методом є одним із ефективних методів вирішення глобальної проблеми антропогенного забруднення навколишнього середовища, досі лишається невирішеною задачею розробка ефективних методів очищення вторинних продуктів утилізації даним методом.

Рішення даних задач неможливо без проведення всебічних наукових досліджень для вибору оптимального та обґрунтованого технічного рішення. Світова практика доводить, що проведення такого роду досліджень багато в чому ґрунтується на методах математичного моделювання з проведенням розрахунків на ЕОМ. Це дозволяє запобігти невиправдано великій кількості складних та дорогих експериментальних досліджень, значно скоротити час та вартість проектних робіт, проводити якісні та кількісні оцінки фізичних явищ з достатньою для інженерної практики точністю.

Результати дослідження

Кафедрою металорізальних верстатів і устаткування автоматизованого виробництва Вінницького національного технічного університету спільно з ТОВ НВП «Гідравліка Вінниця-Сервіс», була розроблена піролізна установка (рис. 2) [1, 2], яка дозволяє ефективно утилізувати медичні відходи з мінімальними економічними і технологічними витратами і подальшим ефективним використанням теплової енергії [3, 4]. Ключовим місцем даного технологічного процесу є система очищення

вторинних продуктів піролізної утилізації відходів, а саме очищення димових газів в системі фільтрів. Система фільтрів складається з первинної системи очистки від крупної фракції дисперсних забруднюючих речовин, а також із вторинної системи очистки, що вже відповідає за очищення від дрібнодисперсних забруднюючих речовин. В свою чергу конструкція первинної системи очистки представлена у вигляді циклонів [5-7].

Для оцінки впливу конструктивних і режимних параметрів на фізичні процеси, що протікають в процесі очищення продуктів згорання даної піролізної установки використовувалась САЕ-система, а саме програмний комплекс FlowVision 3.09.04 [8], що дозволяє моделювати методом скінчено-об'ємних елементів складні руху газу, як несучої системи, і дисперсної системи, включаючи течії з сильною закруткою.

Розрахунок фізичних явищ, що відбуваються під час руху дисперсного середовища складаються із розгляду газодинамічних процесів, що протікають у несучому дисперсному середовищах. Для несучого середовища, яке складається із продуктів згорання природнього газу, програмний комплекс FlowVision 3.09.04 розв'язує систему рівнянь, яка складається з рівняння:

1) нерозривності суцільного несучого середовища:

$$\frac{\partial(\varphi_c \rho_c)}{\partial t} + \nabla \cdot (\varphi_c \rho_c \mathbf{V}_c) = Q_d^{mass} - M_d \dot{n}_d,$$

де φ_c - відносний об'єм суцільного середовища;

ρ_c - густина суцільного несучого середовища;

\mathbf{V}_c - швидкість суцільного несучого середовища;

2) рівняння імпульсів:

$$\frac{\partial(\varphi_c \rho_c \mathbf{V}_c)}{\partial t} + \nabla \cdot (\varphi_c \rho_c \mathbf{V}_c \otimes \mathbf{V}_c) = -\varphi_c \nabla P + \nabla \cdot (\varphi_c \boldsymbol{\tau}_{eff}) - \varphi_c \rho_c \mathbf{g} + \mathbf{S}_d,$$

$$\text{де } \mathbf{V}_c \otimes \mathbf{V}_c = \begin{pmatrix} V_{c,x} V_{c,x} & V_{c,y} V_{c,x} & V_{c,z} V_{c,x} \\ V_{c,x} V_{c,y} & V_{c,y} V_{c,y} & V_{c,z} V_{c,y} \\ V_{c,x} V_{c,z} & V_{c,y} V_{c,z} & V_{c,z} V_{c,z} \end{pmatrix},$$

$\hat{\boldsymbol{\tau}}_{eff} = (\mu + \mu_t) \left(2\hat{\mathbf{S}} - \frac{2}{3}(\nabla \cdot \mathbf{V}_c) \mathbf{I} \right)$ - ефективний тензор в'язких напружень суцільного несучого середовища,

$S_{ij} = \frac{1}{2} \left(\frac{\partial V_i}{\partial x_j} + \frac{\partial V_j}{\partial x_i} \right)$ - швидкість тензорів деформації;

$$\mathbf{S}_d = Q_d^{mass} \mathbf{V}_{d-c} - M_d \dot{n}_d \mathbf{V}_c - n_d \rho_c \frac{1}{2} C_d \pi r_d^2 |\mathbf{V}_c - \mathbf{V}_d| (\mathbf{V}_c - \mathbf{V}_d)$$

$$\mathbf{V}_{d-c} = \mathbf{V}_d + \frac{\dot{m}}{\rho_g} \mathbf{n}_d \approx \mathbf{V}_d$$

\mathbf{V}_{d-c} - вектор суцільної фази на поверхні частинок;

μ - молекулярний коефіцієнт динамічної в'язкості суцільного несучого середовища;

μ_t - турбулентна в'язкість суцільного несучого середовища;

\mathbf{I} - одиничний вектор.

Приймаємо високо-рейнольдсову стандартну турбулентну модель «к-ε» [8].

Рух дисперсних частинок характеризується Лагранжевою системою рівнянь:

1) рівняння моделювання переносу фази дисперсного середовища, що передбачує розв'язок неоднорідного конвективно-дифузійного рівняння для концентрації частинок:

$$\frac{\partial n_d}{\partial t} + \nabla \cdot (\mathbf{V}_d n_d) = \nabla \cdot \left(\frac{\mathbf{V}_{t,d}}{Sc_{t,d}} \nabla n_d \right) + \dot{n}_d,$$

де $\mathbf{V}_{t,d} = \mathbf{V}_{t,c}$

n_d – концентрація частинок,

\mathbf{V}_d – вектор швидкості суцільного несучого середовища;

\dot{n}_d – швидкість утворення/знищення частинок даного сімейства,

$\mathbf{V}_{t,d}$ – кінематичний коефіцієнт турбулентної в'язкості дисперсного середовища,

$\mathbf{V}_{t,c}$ – кінематичний коефіцієнт турбулентної суцільного несучого середовища,

$Sc_{t,d}$ – турбулентне число Шмідта (безрозмірний коефіцієнт, що характеризує турбулентну дифузію частинок).

2) рівняння переносу імпульсу дисперсної фази, що описується конвективно-дифузійним рівнянням, і яке розв'язується відносно швидкості частинок (значення концентрації частинок n_d^n і n_d^{n+1} покладаються відомими):

$$\frac{\partial (n_d \mathbf{V}_d)}{\partial t} + \nabla \cdot \left(\left(n_d \mathbf{V}_d - \frac{\mathbf{V}_{t,d}}{Sc_{t,d}} \nabla n_d \right) \otimes \mathbf{V}_c \right) = -n_d \frac{1}{\rho_d} \nabla P + \frac{1}{\rho_p} F_{rep,i} + n_d \mathbf{g} - \dot{n}_d \mathbf{V}_c +$$

$$+ S_{Vd} \frac{n_d}{\rho_d d^2} (\mathbf{V}_c - \mathbf{V}_d),$$

де

$$F_{rep} = -A_{rep} \exp(-B_{rep} (\varphi_{d,max} - \varphi_d)) \nabla n_p,$$

$$S_{Vd} = \frac{3}{4} C_d \rho_c |\mathbf{V}_c - \mathbf{V}_d| d,$$

P – тиск,

ρ_d – густина матеріалу дисперсних частинок,

ρ_c – густина суцільного несучого середовища,

A_{rep}, B_{rep} – коефіцієнти в реалізованій моделі розштовхування дисперсних частинок,

$\varphi_{d,max}$ – максимально допустимий відносний об'єм дисперсного середовища в розрахунковій комірці,

$$C_d = \frac{21,12}{Re_d} + 6,3 Re_d^{-0,5} + 0,25 - \text{коефіцієнт опору частинок.}$$

Результатом розв'язання даної системи рівнянь ми отримаємо розподіл концентрації дисперсних частинок по всьому об'єму несучого середовища, а також розподіл модуля швидкості несучого середовища в характеристичних площинах системи фільтрів типу циклон.

Висновки

Розробка системи очищення вторинних продуктів піролізної утилізації відходів методом чисельного моделювання, дозволило розробити економне, високопродуктивне і екологічно чисте обладнання для утилізації побутових відходів, з подальшим ефективним використанням теплової енергії, що можуть знайти застосування у вітчизняних підприємствах харчової переробної промисловості, медичних закладах та на підприємствах комунального господарства, які в даний час транспортують і захоронюють відходи на полігонах сміттєзвалищ.

СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

1. Іскович-Лотоцький, Р. Д. Піролізна установка утилізації медичних відходів з додатковим очищенням атмосферних викидів / Р. Д. Іскович-Лотоцький, Я. В. Іванчук, В. І. Повстенюк, Я. П.

Веселовський // II Всеукраїнська міжвузівська науково-технічна конференція "Сучасні технології в промисловому виробництві": Тези доповідей. – Суми: – 2012. – С. 97.

2. Іскович-Лотоцький, Р. Д. Установка для утилізації відходів / Р. Д. Іскович-Лотоцький, Я. В. Іванчук, Д. В. Повстенюк, О. Н. Данилюк // Мир техніки и технологий. – 2007. – №12(73). – С. 36-37.

3. Пат. 23991 Україна, МПК F 23 G 5/00. Установка для утилізації відходів/Р.Д. Іскович-Лотоцький, П. В. Повстенюк, М. І. Шматалюк, О. М. Данилюк - № u 200702015; заявл. 26. 02. 2007; опубл. 11. 06. 2007, Бюл. №8.

4. Пат. 32098 Україна, МПК F 23 G 5/00. Установка для утилізації відходів/Р.Д. Іскович-Лотоцький, В. І. Повстенюк, М. І. Шматалюк, О. М. Данилюк - № u 200711073; заявл. 08. 10. 2007; опубл. 12. 05. 2008, Бюл. №9.

5. Іскович-Лотоцький, Р. Д. Установка для утилізації медичних відходів з відбором тепла та охолодженням / Р. Д. Іскович-Лотоцький, Я. В. Іванчук, В. І. Повстенюк, Г. В. Костюк, О. М. Данилюк, Н. Р. Веселовська // Збірник наукових праць ВНАУ, Серія: Технічні науки. – Вінниця: – 2011. – №7. – С. 98 – 103.

6. Іскович-Лотоцький Р. Д. Модельовання робочих процесів в піролізній установці для утилізації відходів / Р. Д. Іскович-Лотоцький, Я. В. Іванчук, Я. П. Веселовський // Східно-Європейський журнал передових технологій. – Харків, 2015. – Том 1, № 8(79). – с.11-20.

Ярослав Петрович Веселовський – аспірант, факультет машинобудування та транспорту, Вінницький національний технічний університет, Вінниця, e-mail: ivanchuck@ukr.net

Ярослав Володимирович Іванчук – канд. техн. наук, доцент кафедри металорізальних верстатів та обладнання автоматизованих виробництв, Вінницький національний технічний університет, Вінниця

Ростислав Дмитрович Іскович-Лотоцький – д-р., техн. наук, професор, завідувач кафедрою металорізальних верстатів та обладнання автоматизованих виробництв, Вінницький національний технічний університет, Вінниця

Yaroslav P. Veselovsky – graduate student, department of machine tools and automated production equipment, Vinnytsia National Technical University, Vinnytsia, e-mail: ivanchuck@ukr.net

Yaroslav V. Ivanchuk – Cand. Sc. (Eng), Assistant Professor of the department of machine tools and automated production equipment, Vinnytsia National Technical University, Vinnytsia

Rostislav D. Iskovych-Lototsky – Dr. Sc. (Eng.), Professor, Head of the department of machine tools and automated production equipment, Vinnytsia National Technical University, Vinnytsia.