

Особливістю запропонованої схеми є використання стінової опалювальної панелі, яка розташована в зоні перебування свиноматки. У цій схемі пропонуємо використання конвективної складової теплової енергії від інфрачервоного нагрівача разом з витяжним повітрям, що видаляється зонтом, і надалі може використовуватися для попереднього нагріву теплоносія. Комплексне поєднання різних систем опалення, дасть змогу підтримувати необхідний температурний режим у цеху поросят і свиноматки (рис. 5).

Висновки. Отже, внаслідок огляду та аналізу систем опалення, які застосовують у цеху поросят і свиноматки, запропоновано схему системи опалення, елементи якої здійснюють локальний обігрів місць перебування поросят і свиноматки.

Література

1. Мурусидзе Д.Н. Установки для создания микроклимата на животноводческих фермах / Д.Н. Мурусидзе. – М. : Изд-во "Терек", 1979. – 69 с.
2. [Електронний ресурс]. – Доступний з <http://www.kelz.chat.ru>.
3. Макаруха О.І. Енергоощадні технології в опалювальних системах сільськогосподарських комплексів / О.І. Макаруха, Н.А. Сподинюк, В.М. Желих // Науковий вісник НЛТУ України : зб. наук.-техн. праць. – Львів : РВВ НЛТУ України. – 2007. – Вип. 17.8. – С. 103-106.

Дзєрын О.І. Повышение эффективности отопливаемых систем свиноферм

Рассмотрены системы отопления, которые поддерживают необходимый тепловой режим свиноферм, а в частности в цехе поросят и свиноматки. Учтя ряд недостатков, предложено систему отопления, в которой за счет сочетания разных элементов систем отопления, которые обеспечивают локальный обогрев, повышается ее эффективность.

Ключевые слова: тепловой режим, локальный обогрев.

Dzeryn O.I. Increase of efficiency of the heating systems of pig-breeding farm

Considered systems of heating, which support the necessary thermal mode of pig-farms, and in particular in the workshop of piglings and sow. Taking into account the row of failings the system of heating, in which due to combinations of different elements of the systems of heating, which provide the local heating, is offered, its efficiency rises.

Keywords: thermal mode, local heating.

УДК 674:621.928.93

Викл. Л.М. Дорундяк¹; доц. Л.О. Тисовський²,
канд. техн. наук; викл. А.В. Ляшеник¹, канд. техн. наук;
ст. викл. Ю.Р. Дадак², канд. техн. наук

ПРО ДЕЯКІ МАТЕМАТИЧНІ ПІДХОДИ ДО МОДЕЛЮВАННЯ РУХУ ПОВІТРЯНИХ ПОТОКІВ У ЦИКЛОНІ

Зроблено огляд відомих теорій та підходів до моделювання руху повітряних потоків у циклонах та проаналізовано їх вади. Сформульовано вимоги до програмного забезпечення моделювання роботи циклона та окреслено межі його застосування.

Циклони, як пристрої для очищення запиленого потоку повітря, традиційно застосовували на промислових підприємствах деревообробної галузі. Досі їх використовували як самостійні повітроочищувальні пристрої. З підвищенням

¹ Коломийський політехнічний коледж

² НЛТУ України, м. Львів

екологічних вимог до промислових викидів після циклонів почали влаштовувати другу ступінь очищення. Останніми роками для очищення аспіраційного повітря значного поширення набули фільтрувальні станції. Проте інтерес до вивчення та моделювання роботи циклона не знизився з таких причин:

1. При зовнішній простоті конструкції у циклоні відбуваються складні аеродинамічні процеси, змодельовати які повною мірою досі не вдавалося.
2. Можливості використання циклонів на підприємствах деревообробної галузі не вичерпані. Такі їх переваги, як простота обслуговування, здатність працювати за високих концентрацій пилу, невеликі розміри, постійний гідравлічний опір забезпечують постійний попит на циклони.
3. На підприємствах металургії, енергетики, хімічної та будівельної промисловості циклони є незамінними.

Внаслідок відсутності чіткої математичної моделі, яка б враховувала конструктивні параметри циклона та характеристики повітряного потоку на вході у апарат, виникла велика кількість різноманітних конструкцій, ефективність яких є сумнівною. Відсутність стандартних методик випробування циклонів, особливо для умов деревообробної галузі, та методів розрахунку їх ефективності, залежно від дисперсного складу пилу, параметрів повітряного потоку на вході в апарат та інших технічних і технологічних параметрів, сприяє поширенню та застосуванню не найкращих конструкцій апаратів. Тому створення математичної моделі процесу очищення повітряного потоку у циклоні залишається актуальною задачею, що має як теоретичне, так і практичне значення.

У цій роботі зроблено спробу проаналізувати відомі теорії процесів знепилення в циклонах та вибрати напрям розроблення власної моделі. З моменту винайдення циклонів погляди на процес уловлення пилу постійно зазнавали змін. Базовою сепараційною зоною циклона вважали то циліндричну, то конічну його частини. Основними теоріями процесу були гравітаційна, відцентрова, моделювання на основі рівнянь гідрогазодинаміки. Коротко розглянемо суть цих теорій.

Гравітаційна теорія циклонного процесу [1]. Припускається, що незалежно від ефективності сепараційного процесу, всередині апарату і, зокрема в його висхідному потоці, розмір частинок, які можуть бути винесені з циклону, визначається швидкістю газів, які виходять через вихлопну трубу. Границю випадання аерозольних частинок з потоку за такого представлення визначають рівністю сили тяжіння захоплюючій силі потоку, тобто рівністю

$$6\pi r\mu w_z = \frac{4}{3}\pi r^3\gamma_a, \quad (1)$$

де w_z – осьова швидкість потоку у вихлопній трубі; γ_a – об'ємна маса частинки; μ – динамічний коефіцієнт в'язкості; r – радіус частинки.

Звідси швидкість, за якої частинки заданого розміру r залишаються невагомими у висхідному осьовому потоці, дорівнює

$$w_z = \frac{2r^2}{9\mu}\gamma_a, \quad (2)$$

Відповідно радіус цих частинок дорівнює

$$r = 2,12\sqrt{w_z \frac{\mu}{\gamma_a}}. \quad (3)$$

Тобто вважалося, що частинки пилу, радіус яких більший за той, що визначається співвідношенням (3), вловлювалися циклоном.

Насправді гравітаційне осідання частинок із висхідного потоку має тільки другорядне значення. Це легко доводиться тим, що циклонна сепарація проходить не тільки у вертикальному, а і у горизонтально розташованому апараті. Має розбіжність з практикою висновок, який випливає з рівняння (3), що зі зменшенням швидкості у вихлопній трубі ефективність сепарації повинна зростати. У гравітаційній теорії не враховується зміна швидкості по перерізу вихлопної труби. Насправді висхідний потік – це ядро вихору, в якому швидкість спадає в напрямі від периферії до центру; на осі вихору швидкість дорівнює нулю.

Відцентрова теорія [4-5]. Одне з перших експериментальних досліджень газів в циклонних апаратах здійснили П.М. Смухін і П.А. Коузов. Спостереження проводилися на циклонах з глибоко опущеними вихлопними трубами. На основі експериментальних випробувань було запропоновано теорію циклонної сепарації – досвід аналітичного опису закономірностей інерційної сепарації.

Припускалося, що сила інерції частинки дорівнює відцентровій силі, яка бере участь в обертальному русі потоку. Крім того, вважалося, що швидкість частинки відрізняється від швидкості газу тільки наявністю радіальної складової. Тангенціальна швидкість руху частинки в кожний момент дорівнює швидкості руху газу в даній точці.

Оскільки відцентрова сила спрямована по радіусу обертання, то із вказаних умов впливає рівність

$$6\pi\mu w_c = m \frac{w_u^2}{R}, \quad (4)$$

де: w_c – радіальна складова швидкості частинки, тобто швидкість сепарації; R – радіус потоку; m – маса частинки; w_u – тангенціальна складова швидкості частинки. Швидкість сепарації визначають залежністю:

$$w_c = \frac{dR}{dt} = \tau\omega^2 R, \quad (5)$$

де $\omega = \frac{w_u}{R}$ – кутова швидкість обертання потоку.

У загальному випадку швидкість обертання окремих шарів потоку є змінною величиною, причому величиною спадною в напрямку від центру до периферії. Як зазначалося вище, винятком є рух газу в циклонах з відносно великою глибиною занурення вихлопної труби, в яких $\omega = const.$. Для цього випадку з рівняння (5) можна отримати

$$t = \frac{1}{\tau\omega^2} \ln \frac{R_2}{R_1}. \quad (6)$$

Якщо у виразі (6) R_1 – радіус вихлопної труби циклона, а R_2 – радіус зовнішнього циліндра циклона, то t – це час, за який частинка, що потрапила в апарат за найбільш несприятливих умов, пройде шлях до стінки зовнішнього циліндра. Час перебування частинки у висхідному потоці можна визначити також за наближеною формулою [4]

$$t = \frac{2\pi R_{cp} n}{w} = \frac{2\pi n}{\omega}, \quad (7)$$

де: $R_{cp} = \frac{R_1 + R_2}{2}$ – середній радіус потоку, n – кількість обертів потоку в циліндричній частині циклону.

Остання величина важко піддається визначенню. Потік газу, що потрапляє в циклон, розширюється, а по мірі свого обертального руху розмивається вторинними потоками. Здебільшого для циклонів з видовженими вихлопними трубами наявність вторинних потоків не вносить істотних змін у фізичну модель явища, яке прийняте в основу методу розрахунку сепарації в циліндричній частині циклона.

У циклонах П.М. Смухіна і П.А. Коузова глибоко опущена вихлопна труба пом'якшує вплив радіального стоку майже на всій висоті циліндричної частини, створюючи сприятливі умови для виділення аерозольних частин до зовнішньої стінки циклона. Сепарація пилу в криволінійних потоках. Значний крок до розуміння процесів циклонування зробив О.І. Пірумов [1]. Диференціальне рівняння руху частинки пилу в криволінійному потоці у векторній формі було записано так:

$$\frac{d\vec{V}}{dt} = \frac{1}{\tau}(\vec{W} - \vec{V}) = -\frac{1}{\tau}\vec{V}_C, \quad (8)$$

де: $\vec{W}$ – середня швидкість потоку, $\vec{V}$ – абсолютна швидкість прямолінійного руху частинки відносно нерухомої системи координат, $\vec{V}_C$ – відносна швидкість руху частинки, τ – величина, яка має розмірність часу і називається часом релаксації частинки.

$$\tau = \frac{m}{3\pi\mu d} = \frac{d^2}{18\mu} \rho; \quad (9)$$

де: m – маса частинки; μ – динамічна в'язкість повітря; d – діаметр частинки пилу; ρ – густина матеріалу частинки.

Якщо врахувати, що переносний рух частинки пилу є обертальним, то, відповідно до теореми Кореоліса про абсолютне прискорення точки при складному русі, рівняння (8) було представлено таким чином:

$$\frac{d\vec{V}_c}{dt} + \vec{\omega} \times (\vec{\omega} \times \vec{R}) + \left(\frac{d\vec{\omega}}{dt} \times \vec{R}\right) + 2(\vec{\omega} \times \vec{V}_c) = -3\pi\mu d v_c. \quad (10)$$

Після проектування рівняння (10) на осі декартової системи координат, переходу до полярних координат та здійснення перетворень одержали рівняння руху частинок в криволінійному каналі на початковому етапі, тобто

$$\frac{d}{dt} \left(R^2 \frac{d\varphi}{dt} \right) + \frac{1}{\tau} R^2 \frac{d\varphi}{dt} = \frac{k}{\tau}, \quad (11)$$

де k – деяка постійна величина, що визначається об'ємними витратами потоку повітря та геометричними розмірами поперечного перерізу криволінійного каналу. За межами початкового етапу, тобто коли час перебування частинки у циклоні є більшим за час релаксації частинки, рівняння (11) набуває вигляду

$$\frac{d^2 R}{dt^2} + \frac{1}{\tau} \frac{dR}{dt} - \frac{k^2}{R^3} = 0. \quad (12)$$

Внаслідок розв'язання цих рівнянь можна отримати траєкторії руху частинок пилу в циклоні.

Спільними вадами описаних вище теорій є:

1. Не враховують конструктивних особливостей циклона;
2. Досліджують рух частинки тільки у циліндричній частині циклона, або у вихлопній трубі;
3. Результати обчислення діаметра найменших частинок пилу, які будуть уловлені в циклоні, відповідно до описаних теорій, є завищеними;
4. Розглядають рух виключно окремої частинки пилу і нехтують взаємодією частинок між собою та зі стінкою апарата.

Використання пакетів прикладних програм, що ґрунтується на загальних рівняннях механіки суцільного середовища [6]. Найповніше аеродинамічні процеси, що відбуваються у сепараторах, можна описати за допомогою диференціальних рівнянь у частинних похідних, що представляють собою ті чи інші моделі механіки рідин і газів. Проте варто зазначити, що розв'язок таких задач для циклонів, враховуючи їх складність, можна отримати лише числовим шляхом (метод скінчених елементів, різницеві методи, метод граничних інтегральних рівнянь і т.д.)

Останніми роками, у зв'язку з потужним розвитком комп'ютерної техніки та програмного забезпечення, істотно розширилися можливості числового аналізу завдяки CAE (Computer Aided Engineering) технологій, тобто технологій розрахункового аналізу конструкцій. У межах CAE існує такий клас програм, як CFD (Computational Fluid Dynamics), що призначені для комп'ютерного аналізу потоків. Сюди можна віднести такі програми, як CosmosFloWorks, Fluent, Flowvision та інші. Математичний апарат програми CosmosFlowworks представлено в роботі [6]. Структуру такого програмного забезпечення зображено на рис. 1.

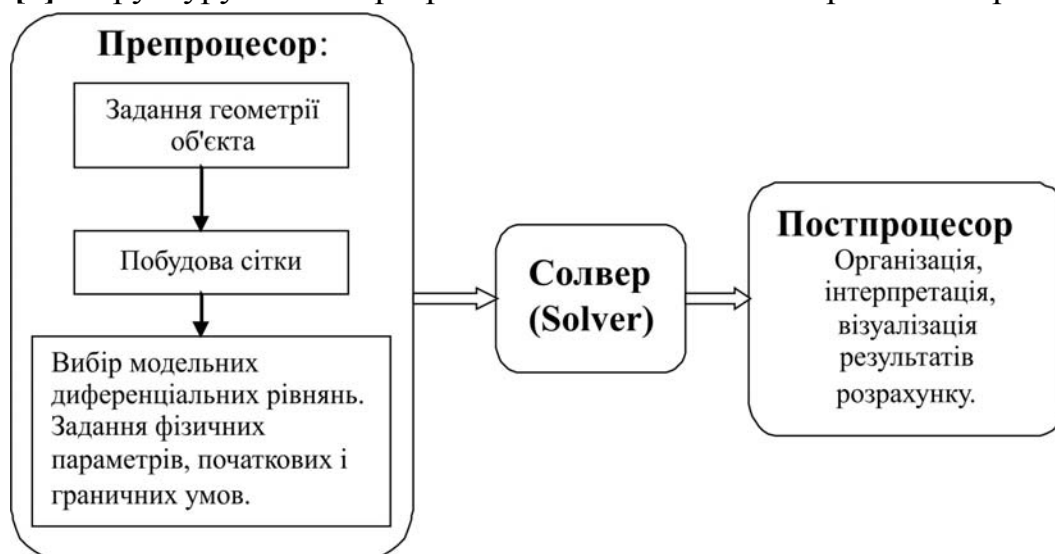


Рис. 1. Структура CFD-пакета програм

Приклад розрахунку. За допомогою програми CosmosFlowworks було змодельовано загальні особливості аеродинаміки руху повітряних потоків (рис. 2) у циклоні ЦН-15, розподіли статичних тисків, складових швидкості пото-

ку повітря, побудовано аеродинамічні характеристики апарата (рис. 3). Обчислення виконували за таких значень параметрів циклона і фізико-механічних властивостей потоку запиленого повітря. Вважали, що в початковий момент часу швидкості обох фаз є однаковими.

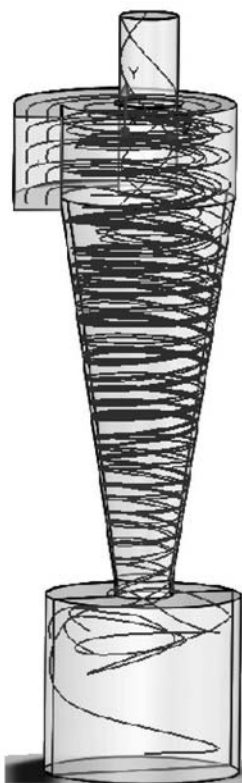


Рис. 2. Траєкторії руху пилоповітряної суміші

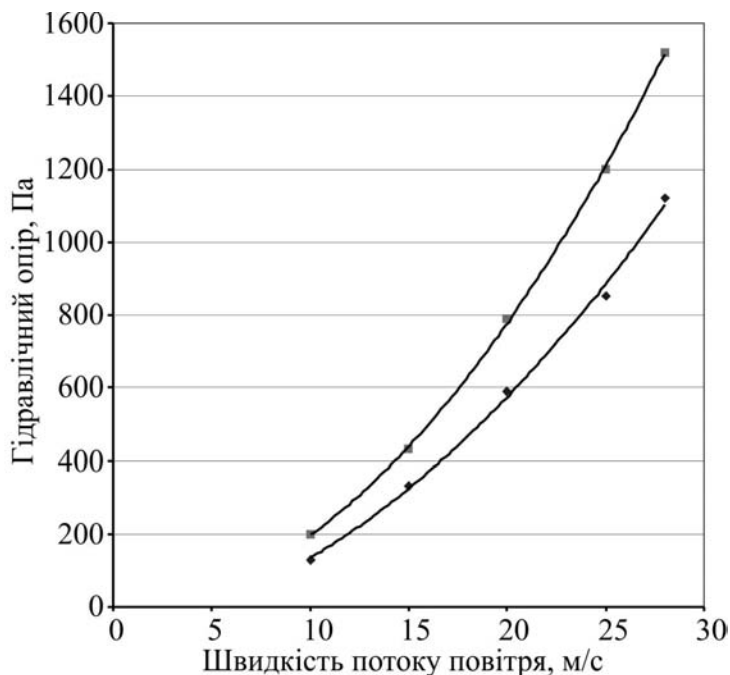


Рис. 3. Залежність гідравлічного опору від швидкості повітря у входному патрубку для циклона ЦН-15 одержано за результатами експерименту [2] (крива 1) та математичного моделювання (крива 2)

Граничні умови визначали формою та конструктивними розмірами циклона і для цієї задачі мали вигляд:

- швидкість повітря на нерухомих твердих поверхнях циклона дорівнює нулю;
- вважаємо відомою швидкість набігаючого пилоповітряного потоку на вході в циклон в будь-який момент часу;
- відомий розподіл температур на поверхні циклона в початковий момент часу;
- між твердими частинками та поверхнею циклона існує ідеальний удар.

Було виконано числовий аналіз розв'язку задачі, результати якого наведено на рис. 2, 3. Обчислення здійснювали за таких значень параметрів: густина повітря $\bar{\rho}^{(1)} = 1,3 \text{ кг/м}^3$, густина твердої частинки $\bar{\rho}^{(2)} = 720 \text{ кг/м}^3$, початкова швидкість $v_0 = 20 \text{ м/с}$, температура $T_0 = 20 \text{ }^\circ\text{C}$, статичний тиск на виході з вихлопної труби циклона дорівнює атмосферному.

Рис. 3 вказує на добрий збіг результатів, отриманих експериментальним і числовим шляхом, що свідчить про правильність вибору математичної моделі пилоповітряної суміші (в'язкий газ) і вказує на перспективність виконання числового аналізу.

Застосування САЕ-технологій та CFD-програм можуть значно скоротити час проектування та дослідження нових конструкцій апаратів, відкинути на етапі проектування заздалегідь невдалі конструкції. Проте вадами пакетів програмного забезпечення прикладної гідрогазодинаміки є:

1. Використання, здебільшого, k -е моделі турбуленції на адресу якої останнім часом звучить безліч критичних зауважень.
2. Універсальність програмного забезпечення призводить до того, що особливості роботи циклона розглядаються неповною мірою.

Тому, на нашу думку, доцільно створити власний пакет прикладних програм, який врахував би специфіку геометрії та фізичних процесів, що відбуваються саме у циклонах та аналогічних апаратах. Теоретичні основи для створення такого програмного забезпечення закладено в монографії [3].

Література

1. **Пирумов А.И.** Аэродинамические основы инерционной сепарации / под ред. Н.Я. Фабриканта. – М. : Госстройиздат, 1961. – С. 13-19.
2. **Тисовский Л.О.** Математическое моделирование аэродинамических процессов в циклоне / Л.О. Тисовский, Л.М. Дорундяк, А.В. Ляшеник, Ю.Р. Дадак // Новейшие достижения в области импортозамещения в химической промышленности и производстве строительных материалов и перспективы их развития : матер. Междунар. научн.-техн. конф. – В 2-х ч. – Минск, 25-27 ноября 2009 г. – МН БГТУ, 2009. – Ч. 2. – С. 177-182.
3. **Лютий Є.М.** Циклони в деревообробній промисловості : монографія / Лютий Є.М., Тисовський Ю.Р., Дадак Ю.Р., Ляшеник А.В. – Львів : Вид-во "Український пасічник", 2009. – 148 с.
4. **Алиев Г.М.** Техника пылеулавливания и очистки промышленных газов / Г.М. Алиев. – М. : Изд-во "Металлургия", 1986. – 63 с.
5. **Степанов Г.Ю.** Инерционные воздухоочистители / Г.Ю. Степанов, И.М. Зицер. – М. : Изд-во "Машиностроение", 1988. – 96 с.
6. **SolidWorks.** Компьютерное моделирование в современной практике / Алямовский А.А., Собачкин А.А., Одинцов Е.В. и др. – СПб. : БХВ-Петербург, 2005. – 800 с.

Дорундяк Л.М., Тисовский Л.О., Ляшеник А.В., Дадак Ю.Р. О некоторых математических подходах к моделированию движения воздушных потоков в циклоне

Сделан обзор известных теорий и подходов к моделированию движения воздушных потоков в циклонах и проанализированы их изъяны. Сформулированы требования к программному обеспечению моделирования работы циклона и очерчены пределы его применения.

Dorundyak L.M., Tysivskyj L.O., Lyashenyk A.V., Dadak Yu.R. Some methods of mathematical modeling air flow in cyclone

A review of known theories and approaches to modeling air flow in cyclones and analyzes their shortcomings. The requirements for the software simulation of the cyclone and outlined its scope.

УДК 674.8*674-423

Аспір. Л.І. Коваль¹ – НЛТУ України, м. Львів

ВІДХОДИ ВІД РОЗКРОЮ MDF – СИРОВИНА ДЛЯ ВИГОТОВЛЕННЯ ПОГОНАЖНИХ ЕЛЕМЕНТІВ

Наведено обсяги споживання, імпорту та експорту MDF в Україні та деяких країнах Європи, розроблено та подано класифікацію відходів, що утворюються у процесі розкрою MDF, проаналізовано типові карти розкрою MDF для виготовлення дверних накладок (полотен), і на підставі цього аналізу визначено залежність використання залишків розкрою від ширини профілю.

¹ Наук. керівник: доц. С.В. Гайда, канд. техн. наук – НЛТУ України, м. Львів