

ми коефіцієнтами заломлення, вищими від матеріалу твердої частини волокна, можна змінювати довжину хвилі і інтенсивність оптичного сигналу, та на їх основі формувати оптичні перемикачі, модулятори, логічні елементи, фільтри та інші оптичні пристрої.

Особлива подія колективу співробітників відділу нанотехнологій лазерного центра Ганновера (LZH), Німеччина, за можливість проведення експериментів.

Література

1. Monro T. Comptes Rendus Physique / T. Monro, D. – Vol. 4 (2003). – Pp. 175-186.
2. Lee B. Current status of micro- and nano-structured optical fiber sensors / B. Lee, S. Roh, J. Park. – Optical Fiber Technology. – Vol. 15, Issue 3, June 2009. – Pp. 209-212.
3. Kerbage C. Appl. Phys. Lett. / C. Kerbage, A. Hale, A. Yablon, R.S. Windeler, B.J. Eggleton. – Vol. 79 (2001). – Pp. 31-91.
4. Châu M.Ph. Three-hole microstructured optical fiber for efficient fiber Bragg grating refractometer / M. Châu Ph. Huy, G. Laffont, V. Dewynter, P. Ferdinand, Ph. Roy, J.-L. Auguste, D. Pagnoux, W. Blanc, B. Dussardier, Optics Letters. – Vol. 32, Issue 16 (2007). – Pp. 2390-2392.
5. Eggleton B.J. Tech. / B.J. Eggleton, A. Ahuja, P.S. Westbrook, J.A. Rogers, P. Kuo, T.N. Nielsen, B. Mikkelsen, J. Lightwave. – Vol. 18 (2000). – Pp. 1418.
6. Yamada Y. Optical Telecommunications / Y. Yamada. – Vol. 198 (2001). – Pp. 395-402.
7. Kerbage C. Tunable devices based on dynamic positioning of micro-fluids in micro-structured optical fiber / C. Kerbage, R.S. Windeler, B.J. Eggleton, B.-P. Mach, M. Dolinskie, J.A. Rogers. – Optics Communications. – Vol. 204 (2002). – Pp. 179-184.
8. Chandalia J. IEEE Photonics Techn. Lett. / J. Chandalia, B. Tggleton, R. Windeler, S. Kosinski, X. Liu, C. Xu. – Vol. 12 (2000). – Pp. 495.
9. Reinhard A. Appl. Phys. A A. Reinhard, A. Seidel, A. Evlyukhin, W. Cheng, D. Chichkov. – Vol. 47 (2010). – Pp. 347-352.

Павлыш В.А., Невинский Д.В., Закалык Л.И., Лебидь С.Ю. Манипуляция оптическим сигналом в фотонно-кристаллических структурах

Предложено для ввода дефектов в фотонно-кристаллическое волокно с переменным диаметром метод двухфотонной полимеризации с использованием фемтосекундного лазера с длиной волны 515 нм и длительностью импульса 250 фс. Для создания дефектов применен полимерный материал на основе органически модифицированной керамики с переменным показателем преломления, выше, чем показатель преломления сердцевины волокна. Рассмотрено влияние введенных дефектов, в зависимости от их размещения в волокне, на основную моду и на моду высшего порядка оптического сигнала. Исследовано влияние дефектов на интенсивность и длину волны сигнала.

Ключевые слова: фотонно-кристаллическая структура, полимер, примесь, оптический сигнал.

Pavlysh V.A., Nevinskiy D.V., Zakalyk L.I., Lebid S.Yu. Manipulation in Photonic Crystal Structures by Optical Signals

The introduction of defects into photon crystal fiber with variable diameter using two photon polymerization method with a femtosecond laser with a wavelength of 515 nm and pulse duration of 250 fs is proposed. Polymer material based on organically modified ceramics with variable refractive index higher than the refractive index of the fiber core was used to create defects in this study. The influence of introduced defects, depending on their location in the fiber, on the main and higher-order modes of the optical signal is presented. The influence of defects on the intensity and wavelength of the signal is studied.

Key words: photonic crystal structure, polymer, impurity, optical signal.

УДК 66.045 Проф. В.М. Атаманюк, д-р техн. наук; асист. І.Я. Матківська; студ. О.М. Данилюк; студ. А.С. Серета – НУ "Львівська політехніка"

ФІЛЬТРАЦІЙНЕ СУШІННЯ ЗЕРНА ПШЕНИЦІ: КІНЕТИЧНІ ЗАКОНОМІРНОСТІ

Представлено результати експериментальних досліджень кінетики фільтраційного сушіння зерна пшениці сорту "Зимоярка", які показали, що процес видалення вологи інтенсифікується із збільшенням температури та швидкості фільтрування теплового агента, а внаслідок різного початкового вологовмісту характер процесу залишається незмінним. Порівняння кінетики фільтраційного сушіння різних сортів пшениці показали, що кінетика процесу не залежить від сорту пшениці. Отже, отримані результати можна використовувати для інших м'яких сортів пшениць без проведення додаткових досліджень. Також визначено вплив фільтраційного сушіння на якісні показники зерна пшениці.

Ключові слова: зерно пшениці, вологовміст, фільтраційне сушіння, кінетика, швидкість сушіння, схожість.

Вступ. Вагому роль у розвитку економіки аграрного сектору України відіграє зернова галузь. Україні за обсягами експорту пшениці належить шосте місце у світі (приблизно 7 % від обсягу світової торгівлі) [1]. Зерно є важливим експортним та стратегічним продуктом, адже є основою стабільності продовольчого ринку, джерелом виробництва хлібобулочних виробів, корму для тваринницької продукції, а також сировиною для переробної промисловості тощо.

Використання зерна, як готового продукту, обумовлює необхідність дотримання таких основних вимог: вологість – не більше 14,5 %, вміст сміттєвих домішок – не більше 5 %, натура (насіпна густина) – не менше 710 кг/м³, схожість – не менше 90-95 %, зернова домішка – не більше 15 %. Отже, однією з операцій післязбирального оброблення зерна є його сушіння до визначеного технічними умовами рівня вологості, забезпечуючи при цьому його якісні показники.

Сушіння зерна є енергоємним, складним технологічним і теплофізичним процесом. У висушеному зерні сповільнюються фізіологічні процеси, за яких зернова маса переходить в анабіотичний стан [2]. Основними показниками, які впливають на інтенсивність процесу сушіння і збереження показників якості зерна, є температура теплового агента, максимальна температура, до якої нагрівається зерно під час сушіння, тривалість процесу, тому ці параметри і визначають вибір технологічних параметрів сушильних установок [3]. На сучасному етапі виробництва зернової продукції в Україні та світі існує потреба інтенсифікації процесу його сушіння, розроблення високоефективних та екологічно безпечних технологій та ефективного зерносушильного обладнання.

Тому запропоновано фільтраційний метод сушіння зерна, який є одним із високоінтенсивних, низькотемпературних та екологічно безпечних методів.

Метою роботи є теоретичне та експериментальне дослідження кінетики фільтраційного сушіння зерна пшениці сорту "Зимоярка" і порівняння отриманих результатів із кінетикою сушіння пшениці сорту "Золотоколоса".

Об'єктом дослідження обрано зерно озимої м'якої пшениці сорту "Зимоярка", яка широко застосовується у харчовій промисловості.

Методика дослідження. Для оцінки основних параметрів шару досліджуваного матеріалу основні технічні характеристики зерна представлено у табл. 1.

Табл. 1. Основні технічні характеристики зерна пшениці сорту "Зимоярка"

$\rho_{нас}, \text{кг} / \text{м}^3$	$d_q \cdot 10^3, \text{м}$	Маса 1000 зерен $G^{1000}, \text{кг}$	$\varepsilon_{ш}, \text{м}^3 / \text{м}^3$	$d_e \cdot 10^3, \text{м}$	$a, \text{м}^2 / \text{м}^3$
845,7	3,39	44,6	0,315	1,266	995

Насипну густину $\rho_{нас}$ зерна визначено за стандартною методикою згідно з ГОСТ 10840, загальну пористість досліджуваних матеріалів (ε) – пікнометричним методом. Еквівалентний діаметр каналів (d_e), крізь які фільтрується тепловий агент, визначено із залежності:

$$d_e = \frac{4 \cdot \varepsilon}{a}, \quad (1)$$

де a – питома поверхня шару зерна, яку визначено із залежності:

$$a = n \cdot S_z \cdot k / V_{шару}, \quad (2)$$

де: k – коефіцієнт взаємного екранування поверхні частинок у шарі, який визначено згідно з рекомендаціями [4]; $V_{шару}$ – загальний об'єм шару матеріалу; n – кількість зернин у шарі. Визначення усередненого діаметра частинок із розміром зерен понад 2 мм проводиться прямим вимірюванням у двох взаємно перпендикулярних напрямках (не враховуючи довжини зернини) та розраховується за залежністю [5]:

$$\bar{d}_q = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N \sqrt[3]{a_i \cdot b_i}, \quad (3)$$

де a, b – ширина та товщина зернини. Вибір раціональних режимів сушіння ґрунтується на забезпеченні видалення вологи за умов мінімальної тривалості процесу та збереження високої якості зерна [6].

Кінетика сушіння описує зміну вологості матеріалу в часі залежно від властивостей висушуваного матеріалу та визначає час сушіння й енергетичні затрати. Тому експериментальні дослідження кінетики фільтраційного сушіння зерна пшениці проведено за методикою, описаною в роботі [5].

Експериментальна частина. Істотний вплив на тривалість процесу зневоднення зерна має температура теплового агента, з його підвищенням прискорюється процес сушіння, що забезпечує економічність процесу. Проте необхідно враховувати термолабільність матеріалу. Отже, температурні параметри теплового агента лімітовані. Як встановлено у попередніх дослідженнях [7], для сушіння зерна доцільно використовувати температуру теплового агента в діапазоні 50–65 °С. Досліджено також вплив швидкості фільтрування теплового агента, оскільки її збільшення інтенсифікує процес тепломасопереносу. Враховуючи, що вологість свіжозібраного зерна залежить від кліматичних умов, виду ґрунтів, сорту та інших факторів, також досліджено вплив початкового вологовмісту свіжозібраного зерна.

Експериментальні дослідження наведено на рис. 1 у вигляді кінетичних кривих зміни вологовмісту w^c у часі τ .

Аналіз рис. 1 а показує, що характер процесу фільтраційного сушіння зерна залишається незмінним за різного початкового вологовмісту. Зростання початкового вологовмісту призводить до зростання загального часу сушіння. За

умови збільшення температури теплового агента від 50 до 65 °С (рис. 1 б) та швидкості його фільтрування від 1,01 до 1,38 м/с (рис. 1 в) процес інтенсифікується та скорочується час сушіння. Це пояснюється зростанням сушильного потенціалу теплового агента та коефіцієнтів тепловіддачі від теплового агента до зерна пшениці. Як видно з рис. 1 в, збільшення швидкості фільтрування теплового агента від 1,38 до 1,74 м/с не приводить до істотного скорочення часу сушіння, що пояснюється наявністю у зерні пшениці тільки зв'язаної вологи і досягнення граничного значення коефіцієнта дифузії для обраних температур теплового агента.

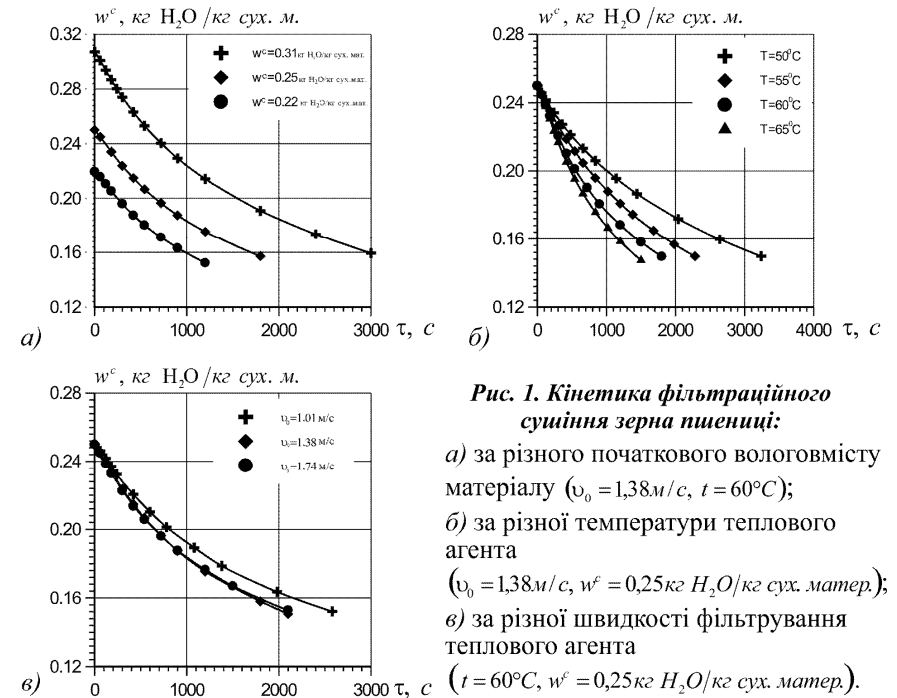


Рис. 1. Кінетика фільтраційного сушіння зерна пшениці:

- а) за різного початкового вологовмісту матеріалу ($v_0 = 1,38 \text{ м/с}$, $t = 60^\circ \text{C}$);
 б) за різної температури теплового агента ($v_0 = 1,38 \text{ м/с}$, $w^0 = 0,25 \text{ кг } \text{H}_2\text{O} / \text{кг сух. матер.}$);
 в) за різної швидкості фільтрування теплового агента ($t = 60^\circ \text{C}$, $w^0 = 0,25 \text{ кг } \text{H}_2\text{O} / \text{кг сух. матер.}$).

На рис. 2 подано графічну залежність швидкості сушіння зерна пшениці, аналіз якого показує, що зерно попередньо прогрівається, про що свідчить зростання швидкості, далі відбувається його сушіння у періоді часткового насичення теплового агента вологою.

Для порівняння кінетики фільтраційного сушіння різних сортів пшениці, зокрема "Зимоярка" та "Золотоколоса", на рис. 3 наведено результати експериментальних досліджень.

Аналіз рис. 3 показав, що кінетика фільтраційного сушіння для досліджуваних сортів пшениці за різного початкового вологовмісту не залежить від сорту пшениці, а залежить тільки від початкового вологовмісту, структурної та внутрішньої будови зернини і від фізико-хімічного складу, які для досліджуваних сортів змінюються не значно. Отже, отримані результати експериментальних досліджень можна використовувати і для інших м'яких сортів пшениць.

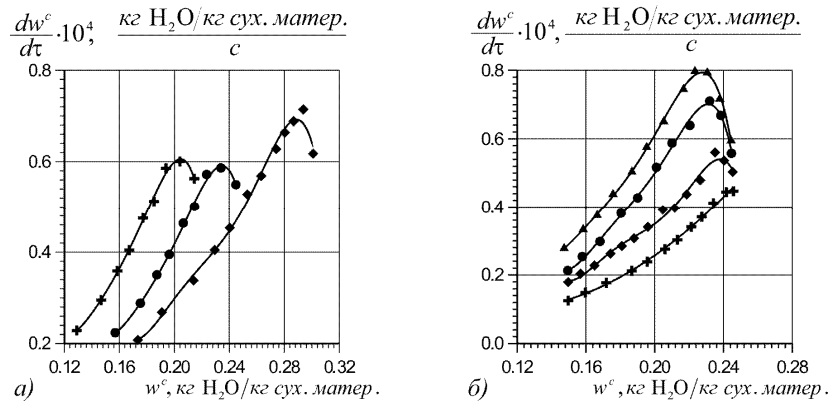


Рис. 2. Швидкість фільтраційного сушіння зерна пшениці (позначення відповідають рис. 1)

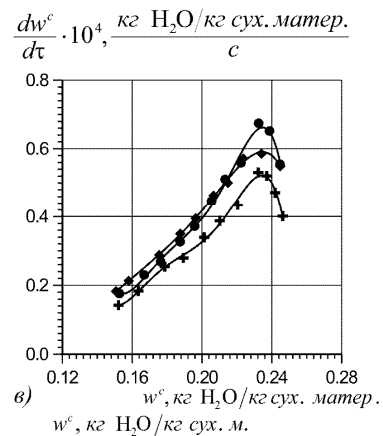


Рис. 3. Кінетика фільтраційного сушіння для сортів пшениці:

- + сорт «Зиморярка»;
- ♦ сорт «Золотоколоса»

Під час сушіння зерна важливо також зберегти його посівні якості. У процесі сушіння якість насіння може погіршуватися внаслідок дії температури. Проведені експериментальні дослідження схожості зерна пшениці за методикою, наведеною у [8], результатами (табл. 2) свідчать, що за температури 50 °C можна зберегти його посівні якості (схожість), а збільшення температури погіршує посівну якість насіння. Проте визначені у заводській лабораторії якісні по-

казники зерна пшениці за температури сушіння 60 °C не виявили відхилення від норм, визначених стандартами. Тому для зерна, яке використовується у продовольчих цілях, можна рекомендувати температуру теплового агента 60-65 °C.

Табл. 2. Посівні властивості зерна пшениці сорту "Зиморярка"

Температура теплового агента, °C	50	55	60	65
Схожість, %	96 ÷ 99	90 ÷ 94	88 ÷ 89	83 ÷ 85

Висновки. Дослідження кінетики фільтраційного сушіння зерна пшениці сорту "Зиморярка" показали, що процес видалення вологи інтенсифікується із збільшенням температури та швидкістю фільтрування теплового агента. Враховуючи призначення зерна, раціональна температура теплового агента для сушіння насіннєвого зерна сорту "Зиморярка" – 50 °C – забезпечує високу схожість насіння, а з огляду інтенсифікації процесу для продовольчого зерна доцільно її збільшити до 60-65 °C.

Кінетика фільтраційного сушіння зерна сорту "Зиморярка" і сорту "Золотоколоса" є дуже подібною. Отже, отримані результати можна використовувати для інших м'яких сортів пшениць без проведення додаткових досліджень.

Література

- Бурлака Н.І. Україна як світовий експортер зерна / Н.І. Бурлака // Збірник наукових праць Вінницького національного аграрного університету. – 2012. – № 3 (69). – С. 36-41.
- Jayas D.S. Preserving quality during grain drying and techniques for measuring grain quality / D.S. Jayas, P. K. Ghosh // 9 th International Working Conference on Stored Product Protection. – 2006. – Рр. 969-980.
- Пазюк О.Д. Параметри процесу і вибір режиму сушіння насіннєвого зерна пшениці / О.Д. Пазюк // Збірник наукових праць Вінницького національного аграрного університету. – 2012. – № 11 т. 2 (66). – С. 370-374.
- Аэров М.Э. Аппараты со стационарным зернистым слоем / М.Э. Аэров, О.М. Тодес, Д.А. Наринский. – Л.: Изд-во "Химия", 1979. – 176 с.
- Атаманюк В.М. Наукові основи фільтраційного сушіння дисперсних матеріалів: монографія / В.М. Атаманюк, Я.М. Гумницький. – Львів: Вид-во НУ "Львівська політехніка". – 2013. – 276 с.
- Снежкін Ю.Ф. Теплонасосна зерносушарка для насіннєвого зерна: монографія / Ю.Ф. Снежкін, В.М. Пазюк, Ж.О. Петрова, Д.М. Чалаєв. – К.: Вид-во ТОВ "Поліграф-Сервіс", 2012. – 154 с.
- Матківська І.Я. Кінетика сушіння зерна пшениці фільтраційним методом / І.Я. Матківська, В.М. Атаманюк, І.Р. Барна // Вісник національного технічного університету "ХПІ": зб. наук. праць. – Харків: Вид-во НТУ "ХПІ". – 2014. – № 17. – С. 130-138.
- Matkivska I. Basic regularities of the filtration drying of wheat grain / Iryna Matkivska, Volodymyr Atamanyuk, Dmytro Symak // Eastern-European Journal of Enterprise Technologies. – 2014. – Vol. 5, № 5(71). – Рр. 14-18.

Атаманюк В.М., Матківская И.Я., Данилюк О.М., Середи А.С. Фильтрационная сушка зерна пшеницы, кинетические закономерности

Представлены результаты экспериментальных исследований кинетики фильтрационной сушки зерна пшеницы сорта "Зиморярка", которые показали, что процесс удаления влаги интенсифицируется с увеличением температуры и скорости фильтрования теплового агента, а в результате различного начального влагосодержания характер процесса остается неизменным. Сравнение кинетики фильтрационной сушки различных сортов пшеницы показали, что кинетика процесса не зависит от сорта пшеницы. Следовательно, полученные результаты можно использовать для других мягких сортов пшеницы без проведения дополнительных исследований. Также определено влияние фильтрационной сушки на качественные показатели зерна пшеницы.

Ключевые слова: зерно пшеницы, влагосодержание, фильтрационная сушка, кинетика, скорость сушки, сходство.

Atamayuk V.M., Matkivska I.Ya., Danylyuk O.M., Sereda A.S. Filtration Drying of Wheat Grain: Kinetic Regularities

The results of experimental investigations concerning kinetics of filtration drying of "Zymoarka" wheat grain show that moisture removal is intensified with the increase in temperature and filtration rate of the heat agent. At different initial moisture content the nature of the process is the same. The comparison of kinetics of filtration drying of wheat of different grades has shown that the process kinetics does not depend on the wheat grade. Thus the obtained results may be used for other soft grades of wheat without additional investigations. And also the effect of filtration drying on the qualitative performance of wheat grain has been determined.

Key words: wheat grain, moisture content, filtration drying, kinetics, drying rate, germination.

УДК 628.511

*Доц. Р.І. Гаврилів, канд. техн. наук;
доц. В.В. Майструк, канд. техн. наук; магістр І.В. Ковцуняк;
магістр І.М. Іванів – НУ "Львівська політехніка"*

ЧИСЕЛЬНЕ МОДЕЛЮВАННЯ ВПЛИВУ ГЕОМЕТРІЇ ВХІДНОГО ПАТРУБКА НА ГІДРОДИНАМІЧНУ СТРУКТУРУ ПОТОКУ В РОБОЧІЙ ЗОНІ ПРЯМОТЕЧІЙНОГО ЦИКЛОНУ

Представлено результати дослідження гідродинамічної структури потоку в прямотечіному циклоні залежно від геометрії вхідного патрубку.

Теоретичні дослідження виконано на базі сучасного комплексу комп'ютерного моделювання Solid Works Flow Simulation. Розглянуті закономірності руху газової фази в прямотечіному циклоні з коаксіальною вставкою та аналіз поля швидкостей дають змогу спрогнозувати визначальні технологічні характеристики дослідного апарату та оптимізувати режимні і конструктивні параметри його роботи.

Запропонований авторами підхід для аналізу сепараційної картини в робочій зоні циклону значно заощаджує час на проектування пилоочисного обладнання і дає змогу на початковому етапі відкинути невдалі конструкції.

Ключові слова: комп'ютерне моделювання роботи циклону, програмний комплекс Flow Simulation, поле швидкостей, прямотечіний циклон.

Вступ. Циклонні пиловловлювачі є відносно простими апаратами відцентрової дії, які використовують для видалення твердих частинок з газових потоків. Їх застосовують у різних галузях промисловості і технологіях виробництва як самостійні апарати в технологічних схемах для проведення різноманітних технологічних процесів, так і у вигляді пилоочисних систем. Зростаючі вимоги до екологічних показників сучасних виробництв, якості готової продукції, енерго- і ресурсозбереження та створення безвідходних технологій, вимагають подальшого підвищення ефективності роботи пилоочисних апаратів. Один з варіантів підвищення ефективності роботи циклонів є оптимізація їх конструкції та геометричних розмірів.

Серед різних типів циклонних сепараторів найбільш вивченими на сьогодні є протитечіні циклони. Проте апарати цього типу характеризуються відносно високим гідравлічним опором, а подальше підвищення ефективності їх роботи неминує пов'язано із збільшенням загальних енергетичних витрат на

проведення процесу очистки. Прямотечіні циклони, які характеризуються значно нижчим гідравлічним опором і відносно високою ефективністю, виглядають більш перспективними у плані подальшого удосконалення їх конструкції і роботи в цьому напрямку на сьогодні ще продовжуються.

Постановка проблеми, її актуальність. Параметри, які визначають ефективність роботи циклону, можуть бути класифіковані на ті, що пов'язані з умовами експлуатації (швидкість потоку на вході, температура, в'язкість і густина газу, розміри частинок пилу і їх фізичні властивості) та конструкції циклону. Конструктивні розміри стандартних циклонів описуються геометричними параметрами, які виражаються в частках від діаметра апарату. Це висота циліндричної частини, конічної частини, вхідного і вихідного патрубку, розміри бункера та ін. У багатьох роботах вивчено вплив основних геометричних параметрів на величину гідравлічного опору та ефективність роботи циклону [1-7].

В основному ці роботи стосувалися конструкції циклонів протитечіного типу. Аналіз цих досліджень показує, що найбільш визначальними циклонними геометричними параметрами є висота циклону (циліндрична і конічна частини), геометрія вхідного патрубку та вихлопної труби. Щодо прямотечіних циклонів, які конструктивно відрізняються від протитечіних, то результати експериментальних і теоретичних досліджень, які одержані різними авторами і представлені в літературі, стосуються виключно досліджуваних ними конструкцій [8, 9]. Це, звичайно, обмежує використання одержаних цими авторами результатів для широкого кола різноманітних конструкцій прямотечіних апаратів та їх проектування.

Відсутність надійних теоретичних і експериментальних даних для прогнозування основних технологічних характеристик прямотечіних циклонів залежно від їх геометричних параметрів створює значні труднощі під час розроблення нових та модернізації існуючих апаратів сухого очищення газів. Тому, під час проектування нових прямотечіних циклонних апаратів можливий помилковий вибір їх основних технологічних і конструктивних параметрів, що в підсумку призведе до зменшення ефективності їх роботи.

У зв'язку з достатньо складними і трудомісткими лабораторними методами оптимізації конструкції циклонів, на сьогодні широко використовують методи чисельного моделювання та симуляції процесу, відкидаючи неправильні співвідношення геометрії апарату ще на початковій стадії проектування. Серед найбільш відомих програмних CFD комплексів можна виділити такі SolidWorks фірми DSS SolidWorks Corp., Ansys фірми Ansys Inc., FlowVision фірми Tecsc й інші. Такий інноваційний підхід дає змогу не тільки по-новому підійти до вирішення актуальної задачі оптимізації конструкції пилоочисного обладнання, але й значно скоротити час на прогнозування їх основних робочих характеристик.

Мета і завдання досліджень. У роботі [10] методами чисельного моделювання на базі ПК SolidWorks Flow Simulation проаналізовано вплив режимних і конструктивних параметрів на гідравлічний опір прямотечіного циклону. На основі одержаних результатів, для розглянутих умов досліджень, запропоновано оптимальну геометрію апарату промислового типу. Результати комп'ютерного моделювання, одержані за допомогою ПК SolidWorks Flow Simulation, добре узгоджуються з експериментальними даними.