

Жданов І.В., канд. техн. наук,
Стеблянко В.Г., канд. техн. наук, доц.,
Шульга А.В.

Донецький національний університет економіки
і торгівлі імені Михайла Туган-Барановського,
м. Донецьк, Україна, e-mail: lateralius2@mail.ru

КОМП'ЮТЕРНЕ МОДЕЛЮВАННЯ АЕРОДИНАМІКИ КАМЕРИ СУШИЛЬНОЇ УСТАНОВКИ З ВІДЦЕНТРОВИМ ПСЕВДОЗРІДЖЕНИМ ШАРОМ

Zhdanov I.V., Cand. Sc. (Tech.),
Steblianko V.G., Cand. Sc. (Tech.),
Assoc. Prof.,
Shulga A.V.

Donetsk National University of Economics and
Trade named after Mykhayilo Tugan-Baranovsky,
Donetsk, Ukraine, e-mail: lateralius2@mail.ru

SIMULATION OF AERODYNAMICS IN DRYER CHAMBER WITH CENTRIFUGAL FLUIDIZED BED

1

Метою статті є комп'ютерне моделювання аеродинамічних умов у сушильній камері з відцентровим псевдозрідженим шаром продукту та інфрачервоним теплоідведенням і оптимізація її конструкції на основі аналізу результатів моделювання.

Методика. Для моделювання використано пакет *Flow Simulation*, що інтегрований у графічний редактор *Solid Works*. У цьому пакеті рух текучого середовища моделюється за допомогою рівнянь Нав'є-Стокса, що описують у нестационарній постановці закони збереження маси, імпульсу й енергії цього середовища. Для моделювання турбулентної течії вищевказані рівняння осереднюються за Рейнольдсом, тобто використовується осереднений за малим масштабом часу вплив турбулентності на параметри потоку, а великомасштабні часові зміни осереднених за малим масштабом часу складових газодинамічних параметрів потоку (тиску, швидкостей, температури) враховуються введенням відповідних похідних за часом. У результаті рівняння мають додаткові члени – напруження за Рейнольдсом, а для замикання цієї системи рівнянь у *Flow Simulation* використовуються рівняння перенесення кінетичної енергії турбулентності та її дисипації в рамках *k-ε* моделі турбулентності. Результатом комп'ютерних розрахунків є числові розв'язки вищевказаної моделі, отримані за допомогою методу кінцевих об'ємів.

Результати. Отримані траєкторії потоку повітря та поля швидкостей повітря для різних перетинів сушильної камери за різних значень робочих і конструктивних параметрів. На основі отриманих середньоінтегральних значень тиску повітря на вхідній та вихідній поверхнях повітряних патрубків побудовані графіки залежності коефіцієнта місцевого опору сушильної камери від числа Рейнольдса.

Наукова новизна. Уперше для сушильної камери з відцентровим псевдозрідженим шаром продукту та інфрачервоним теплоідведенням отримано конструкцію, яка дозволяє забезпечити інтенсивну взаємодію потоку повітря з продуктом незалежно від параметрів перфорації барабану.

Практична значущість отриманих результатів полягає у використанні їх в розробці технологічного обладнання для сушіння дрібнокускових рослинних продуктів, моделюванні процесів їх сушіння.

Ключові слова: аеродинаміка, поле швидкості, потік повітря, комп'ютерне моделювання.

Постановка проблеми в загальному вигляді та зв'язок із найважливішими науковими чи практичними завданнями. На сьогодні в Україні у структурі переробки трьох олійних культур соняшник займає близько 92% (6% – соєві боби, 2% – насіння рапсу). У світовому масштабі виробництва насіння соняшнику Україна разом з Росією і Аргентиною складає так званий «соняшниковий трикутник» країн, які є безперечними лідерами у цій сфері, на частку яких припадає більше 50% від світового виробництва цієї олійної культури [1; 2].

За даними експертів масложирової галузі [3], попит на соняшникову олію у світовому масштабі стабільно зростає. З одного боку, це обумовлено загальними тенденціями збільшення харчового споживання рослинної олії. З іншого, в умовах зростання нехарчового споживання рослинної олії і, відповідно, збільшення частки використання пальмової, рапсової та соєвої олії з цієї метою частини харчового споживання також замінюється соняшnikовою олією. Так, за останні 20 років світове споживання рослинної олії подвоїлося, а соняшnikової – збільшилося на 34%.

Збільшення попиту на насіння соняшнику обумовлене також зростанням популярності на ринку снєків України і Росії цього продукту в смаженому вигляді. На думку науковців [4], це викликано наслідками світової економічної кризи, що знизила купівельну спроможність населення і, як наслідок, підвищила попит на один з найдешевших снєкових продуктів – смажене насіння соняшнику. Тобто найближчим часом в Україні очікується підвищення обсягів виробництва насіння соняшнику, причому головним чином не за рахунок збільшення посівних площ під цю олійну культуру, а за рахунок інтенсивних методів, що передбачають застосування більш сучасних агротехнологій [1-3].

Традиційно в Україні і Росії сушіння насіння соняшнику здійснюють конвективним способом у барабанних, тунельних, шахтних, рециркуляційних сушарках, головною перевагою яких є велика продуктивність. Разом з тим ці сушарки досить енергоємні, габаритні, не забезпечують однорідну теплову обробку насіння, оскільки не враховують специфіку насіння соняшнику як об'єкта сушіння. Ця специфіка полягає в неоднорідності складу насіннячка, що містить плодову оболонку (лушпиння) чорного кольору з темними або сірими смугами, плодову оболонку (плівку) і насіння (ядро). Різний хімічний склад лушпиння і ядра обумовлює різний ступінь зв'язку вологи, яку необхідно видалити під час сушіння. Так, лушпиння, що містить велику кількість полісахаридів (клітковини, целюлози тощо), можна вважати капілярно-пористим тілом, а ядро, що містить велику кількість білка, – колоїдним. У результаті, за даними російських вчених, рівноважний вологовміст ядра приблизно у 1,9 разу менший за рівноважний вологовміст лушпиння. Слід ураховувати також, що у насіння живильних сортів соняшнику лушпиння нещільно прилягає до ядра, тобто між лушпинням і ядром є повітряна порожнина. Таким чином, насіннячко складається з частин, які різко відрізняються за термодинамічними властивостями.

Обираючи спосіб сушіння соняшnikового насіння, слід ураховувати також, що його стійкість під час зберігання суттєво залежить від цілісності структури. Пошкодження лушпиння, яке виконує функцію механічного захисту ядра від дії мікроорганізмів, знижує стійкість насіння під час зберігання.

Отже, специфіка насіння соняшнику як об'єкта сушіння робить недоцільним використання поверхневого теплопідведення, яке за досить великої вологоінерційності насіннячка створює умови для розтріскування лушпиння.

Більш перспективним для сушіння насіння соняшнику є об'ємні способи теплопідведення, з яких останнім часом найбільше поширення в харчовій та переробній галузях отримали інфрачервоний та мікрохвильовий. Вони можуть забезпечити рівномірне прогрівання всього насіннячка або більш інтенсивне нагрівання ядра. До того ж зникає необхідність використовувати повітря як тепловий агент, що значно знижує енерговитрати на процес сушіння. Перспективою в цьому сенсі є комбінація інфрачервоного або мікрохвильового теплопідведення й активного контакту насіння та слабо нагрітим повітрям, яке забезпечує, наприклад, псевдо зріджений, віброкиплячий чи відцентровий псевдозріджений шар (ВПШ).

Одним з етапів наших наукових досліджень є розробка та створення експериментальної установки з інфрачервоним теплопідведенням до ВПШ продукту. Для вирішення деяких питань, які виникли під час розробки установки, було здійснено комп'ютерне моделювання аеродинамічних умов у камері. Отже, **метою статті** і є висвітлення результатів проведеного моделювання.

Виклад основного матеріалу. Принципова схема вказаної вище установки наведена на рисунку 1.

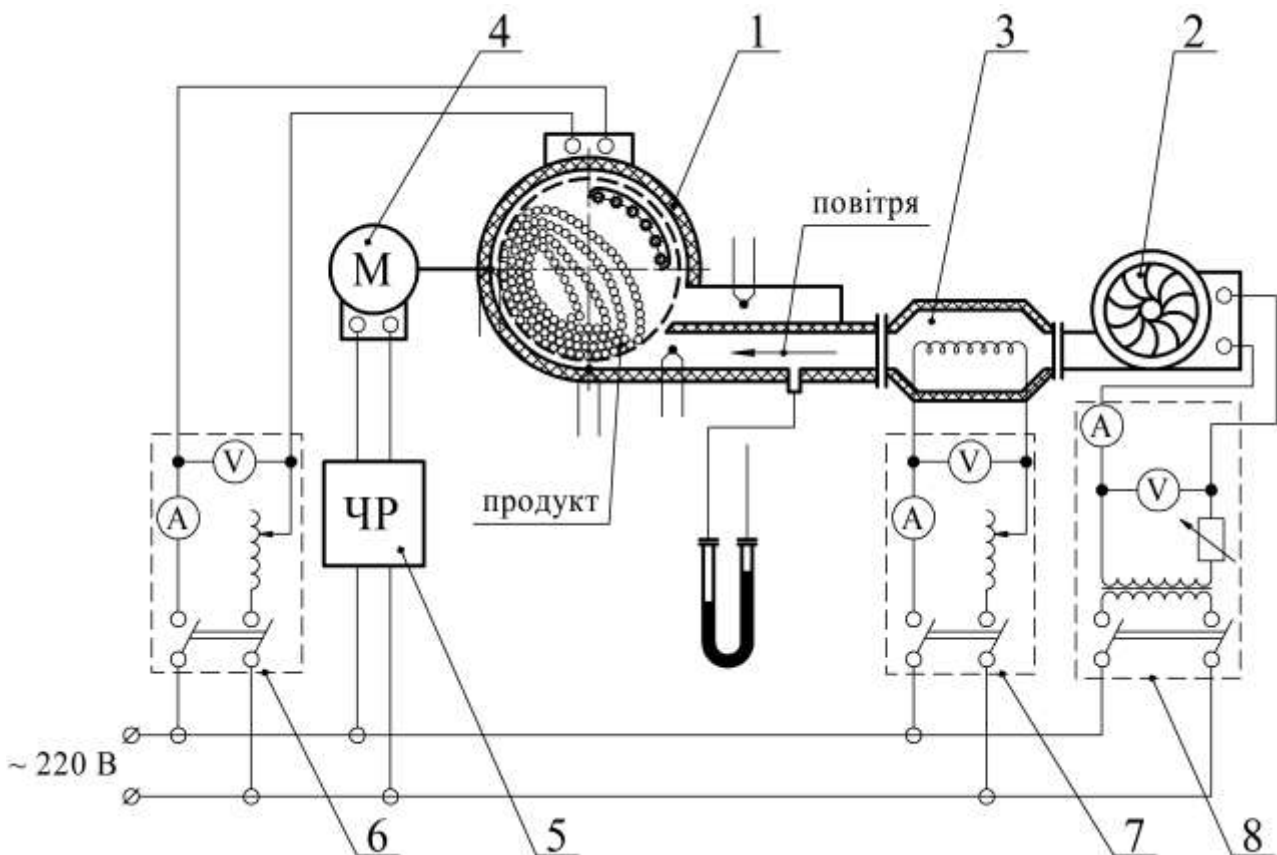


Рисунок 1 – Принципова схема експериментальної сушильної установки з ВПШ продукту та інфрачервоним теплопідведенням

Її основними елементами є сушильна камера 1, вентилятор 2, калорифер 3 для нагрівання повітря, електродвигун 4, що забезпечує обертання барабана сушильної камери.

Для зміни робочих параметрів передбачені такі блоки:

- регулювання швидкості повітря на вході в сушильну камеру (позиція 8);
- регулювання температури нагрівання повітря (позиція 7);
- регулювання потужності нагрівання інфрачервоних випромінювачів (позиція 6);
- частотний регулятор для керування швидкістю обертання барабана (позиція 5).

Теплота до висушуваного дисперсного продукту підводиться в основному від блока інфрачервоних випромінювачів. Менша частина теплоти надходить від нагрітого цими ж випромінювачами перфорованого барабана та підігрітого калорифером повітря, основна функція якого – вологопоглинання. Очевидно, реалізований у схемі спосіб сушіння передбачає інтенсивний контакт повітря з продуктом. Як показали наші попередні дослідження [5], цей характер може у значною мірою залежати від конструкції камери (розташування вхідного і вихідного патрубків, співвідношення розмірів їх поперечних перетинів, радіуса та ширини камери тощо).

Для моделювання застосовано комп'ютерний пакет Flow Simulation, що інтегрований у графічний редактор Solid Works. У цьому пакеті рух текучого середовища моделюється за допомогою системи рівнянь Нав'є-Стокса, що описує в нестационарній постановці закони збереження маси, імпульсу й енергії цього середовища [6]. Результатом комп'ютерних розрахунків є числові розв'язки вищевказаних моделей, отримані за допомогою методу кінцевих об'ємів.

Моделювання здійснювалося для вирішення таких інженерних задач:

- визначення втрати напору повітря під час проходження його через сушильну камеру з різними початковими швидкостями;
- визначення оптимального розташування повітряних патрубків, яке забезпечить інтенсивну взаємодію повітря з продуктом.

На рисунку 2 подано зображення моделі сушильної камери. Як базову прийнято конструкцію сушильної камери, яка обґрунтована нами раніше для сушарки з ВПШ продукту без блока інфрачервоного теплопідведення на основі здійсненого комп'ютерного моделювання аеродинамічних умов [5]. Недоліком проведеного нами раніше моделювання була відсутність у камері перфорованого барабана, для врахування якого не вистачило ресурсу персонального комп'ютера. Принциповою відмінністю нового моделювання від проведеного раніше є також наявність у моделі блока інфрачервоних випромінювачів, який впливає на аеродинамічні умови в сушильній камері.

На рисунку 3 наведені результати моделювання, яке робили без урахування впливу перфорованого барабана.

Аналіз поля швидкостей повітря показує, що наявність блока випромінювачів не змінює характеру кільцевого потоку повітря; частина цього потоку спрямовується у проміжок між стінкою камери і відбивачем блока випромінювачів.

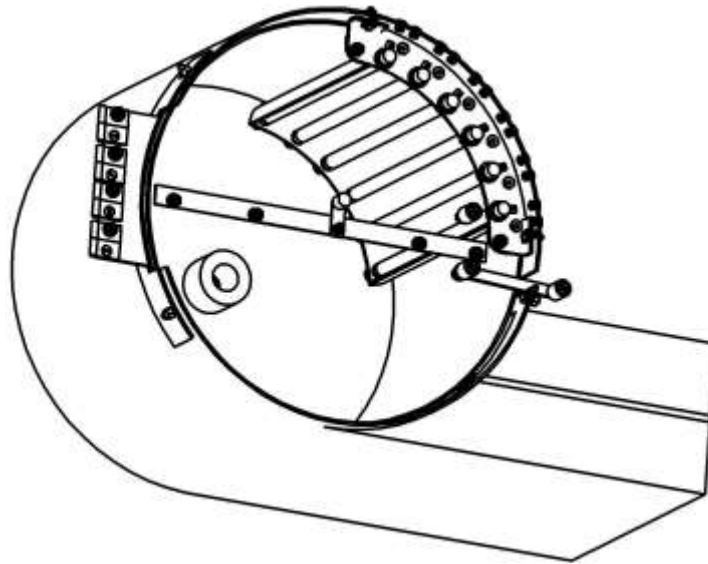


Рисунок 2 – Модель сушильної камери

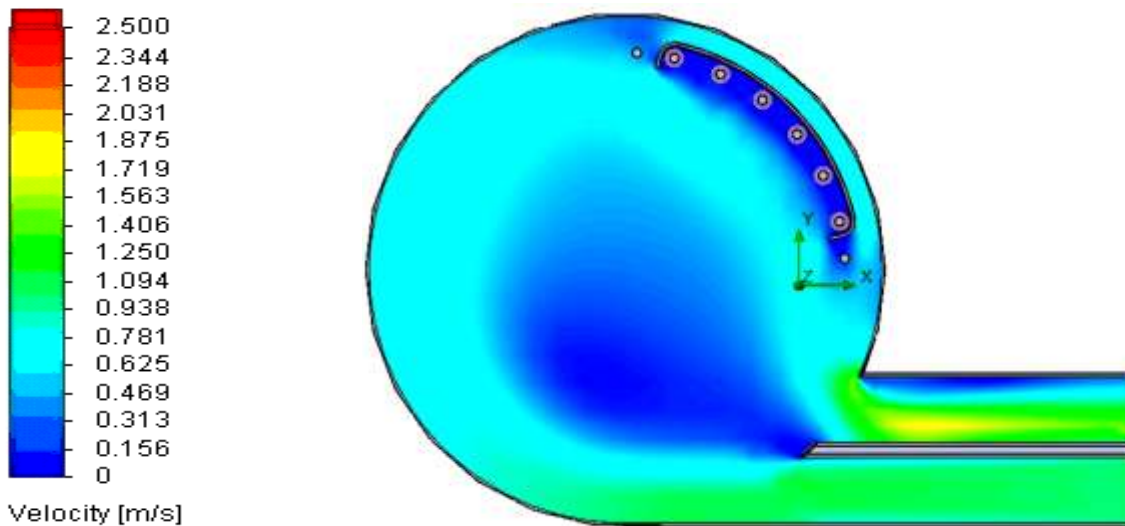


Рисунок 3 – Розподіл швидкості повітря в середньому перетині камери за швидкості повітря на вході у сушильну камеру 1 м/с (без урахування перфорованого барабана)

Аналогічний характер має потік повітря й за інших початкових швидкостей (максимальна початкова швидкість, за якої здійснювалося моделювання, становила 10 м/с). У таблиці 1 наведені результати втрати тиску повітря під час проходження через камеру для різних значень швидкості повітря на вході у сушильну камеру.

Таблиця 1 – Втрати тиску повітря у сушильній камері залежно від початкової швидкості повітря

Початкова швидкість повітря, м/с	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Зниження тиску, Па	3	8,8	15,3	25,5	38,6	53,5	65,6	84,9	107,6	132,5

За даними таблиці 1 було побудовано графік залежності коефіцієнта місцевого опору камери від числа Рейнольдса, наведений на рисунку 4. Його абсциси й ординату розраховували таким чином:

$$\text{Re} = \frac{v d}{\nu}; \quad (1)$$

$$\xi = \frac{2\Delta P}{\rho v^2}, \quad (2)$$

де v – швидкість повітря;

d – характерний розмір каналу, вздовж якого рухалося повітря (у нашому випадку це висота внутрішнього каналу патрубків);

ν – кінематичний коефіцієнт в'язкості повітря;

ΔP – зниження тиску повітря під час проходження сушильної камери;

ρ – густина повітря.

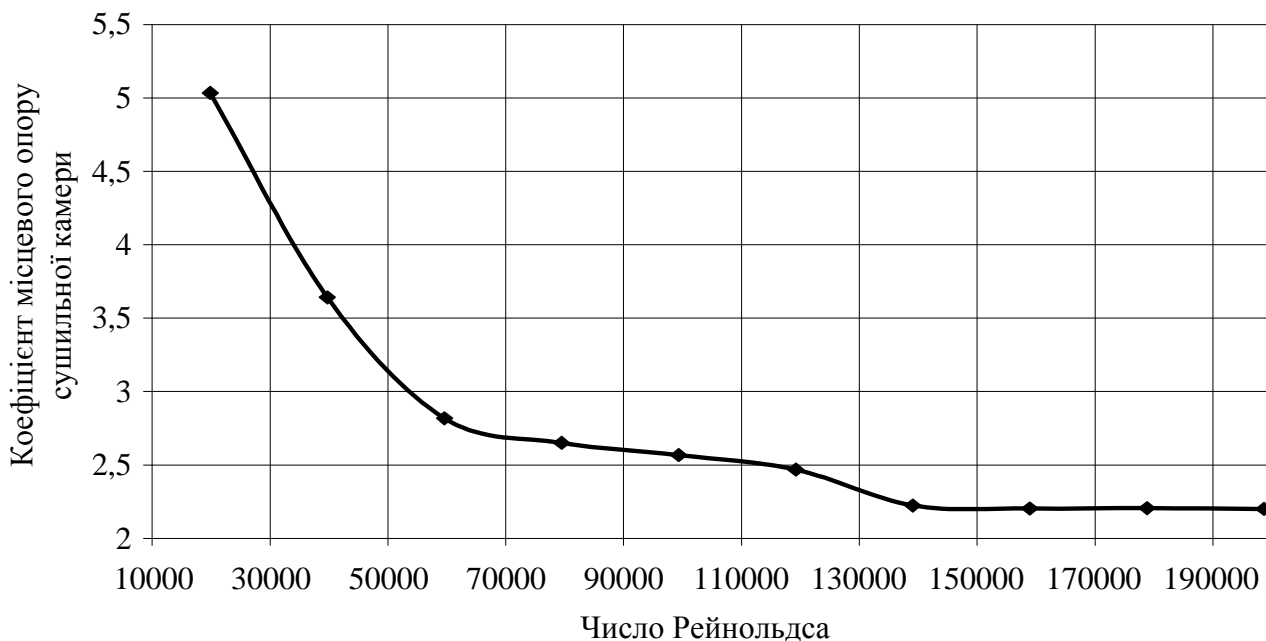


Рисунок 4 – Залежність коефіцієнта місцевого опору сушильної камери від числа Рейнольдса

Далі було здійснено моделювання з урахуванням перфорованого барабана (параметри перфорації – квадратні отвори 2×2 мм з проміжками 0,6 мм у осьовому і обводовому напрямках; відносна площа живого перетину 0,5776) – результати наведені на рисунку 5 у вигляді поля швидкостей повітря в середньому перетині камери.

Їх аналіз показує, що характер потоку суттєво змінюється внаслідок опору перфорованого барабана: кільцевий характер зникає, повітря після входу в камеру майже одразу спрямовується до вихідного патрубка, минаючи зону, у якій повинен знаходитися продукт.

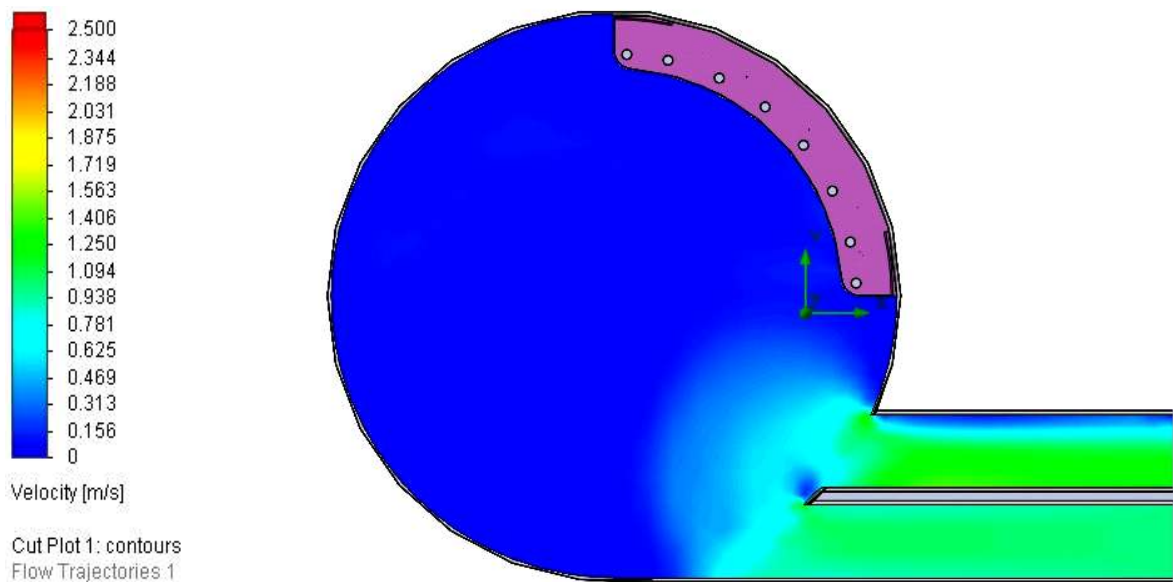


Рисунок 5 – Розподіл швидкості повітря в середньому перетині камери за швидкості повітря на вході у сушильну камеру 1 м/с (з урахування перфорованого барабана)

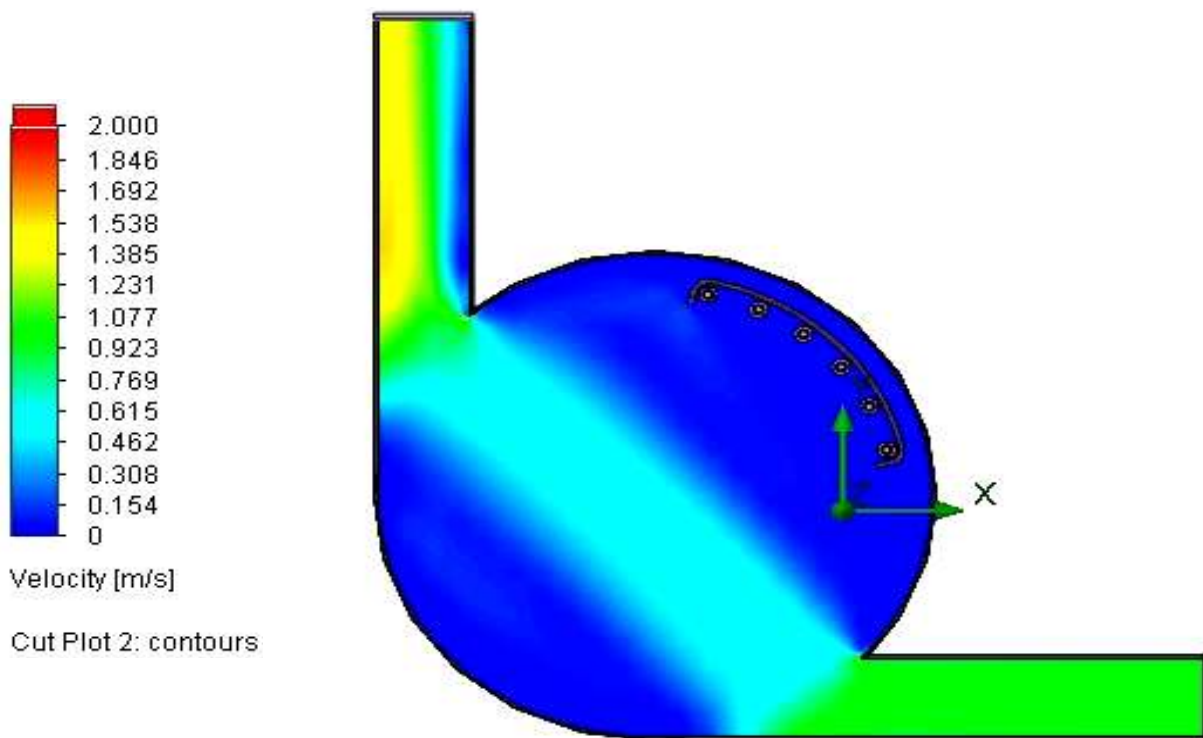


Рисунок 6 – Розподіл швидкості повітря в середньому перетині камери за швидкості повітря на вході у сушильну камеру 1 м/с (оптимальне розташування вихідного патрубка)

Спроби отримати потрібний характер руху повітря за умови зміни співвідношень основних конструктивних параметрів сушильної камери та параметрів перфорації барабана не дали позитивних результатів. Тому моделювання було здійснено за різного положення вихідного патрубка. Оптимальний результат

отримано за умови його вертикального розташування, що відображено на рисунку 6. У цьому випадку, хоча рух повітря не має кільцевого характеру, забезпечується максимально інтенсивна взаємодія повітря з продуктом у зоні падіння останнього (при цьому напрямок руху повітря і частинок продукту протилежний, що забезпечує максимальні значення коефіцієнта ковзання і, як наслідок, максимальні значення коефіцієнтів перенесення маси і теплоти). Перевагою такого положення вихідного патрубку є також незалежність характеру потоку від співвідношень конструктивних параметрів сушильної камери, початкової швидкості повітря (у діапазоні 1...10 м/с) і параметрів перфорації барабана, що дає підставу сподіватися на його незмінність і за наявності в камері продукту.

Висновки та перспективи подальших досліджень. На основі моделювання отримано оптимальну конструкцію сушильної камери, яка забезпечує інтенсивну взаємодію продукту з повітрям. Перспективами подальших досліджень є здійснення моделювання теплообміну в камері за наявності різних значень робочих параметрів для визначення максимальної температури прозорих кварцових дверцят камери, величини теплового потоку на зовнішній поверхні камери, середньої температури барабана, середньої температури повітря на виході з сушильної камери тощо.

Список літератури / References:

1. Литвиненко В.С. Рынок семян подсолнечника и продуктов переработки в Украине [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <www.apk-inform.com>. Litvinenko, V.S. (2011), “Seeds of sunflower and products of processing in Ukraine”, available at: www.apk-inform.com (accessed July 2, 2011).
2. Пунда И. Подсолнечник. Подсолнечное масло рафинированное и нерафинированное: учеб. пособие / И. Пунда, Д. Приходько // Продовольств. и с.-х. орг. ООН (FAO). – 2010. – 43 с. Punda, I. (2010), *Podsolnechnoye maslo rafinirovannoye i nerafinirovannoye* [Refined and unrefined sunflower oil], FAO, 43 p.
3. Аргентина, Россия, Украина: конкурентная среда на рынке семян подсолнечника и продуктов переработки [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <www.masla.net>. “Argentina, Russia, Ukraine: competition environment at the market of seeds of sunflower and products of processing”, available at: www.masla.net (accessed July 11, 2011).
4. Арахис сменили семечки [Электронный ресурс]. – Режим доступ: <www.ukrrudprom.ua>. “A peanut was changed by seeds”, available at: www.ukrrudprom.ua (accessed July 7, 2011).
5. Жданов І.В. Комп’ютерне моделювання аеродинаміки в робочій камері в процесі сушіння у відцентровому псевдозрідженому шарі / І.В. Жданов // Обладнання та технології харчових виробництв. – 2010. – Вип. 23. – С. 231-238. Zhdanov, I.V. (2010), “Computer simulation of aerodynamics in the chamber during drying in a centrifugal fluidized bed”, *Obladnannia ta tekhnolohii kharchovykh vyrobnytstv*, №. 23, pp. 231-238.

6. Алямовский А.А. Solid Works 2007/2008. Компьютерное моделирование в инженерной практике / А.А. Алямовский [и др.]. – СПб.: БХВ-Петербург, 2008. – 1040 с.

Aliamovskiy, A.A., Sobachkin, A.A., Odintsov, Ye.V., Kharitonovich, A.I. and Ponomarev, N.B. (2008), *Solid Works 2007/2008. Kompiuternoye modelirovaniye v inzhenernoy praktike* [Solid Works 2007/2008. Computer simulation in engineering practice], BHV-Peterburg, St. Petersburg, Russia, 1040 p.

Целью статьи является проведение компьютерного моделирования аэродинамической обстановки в сушильной камере с центробежным псевдооживленным слоем продукта и инфракрасным теплоподводом, а также оптимизация ее конструкции на основе анализа результатов моделирования.

Методика. Для моделирования использован пакет Flow Simulation, который интегрирован в графический редактор Solid Works. В этом пакете движение текучей среды моделируется с помощью уравнений Навье-Стокса, описывающих в нестационарной постановке законы сохранения массы, импульса и энергии этой среды. Для моделирования турбулентного течения вышеуказанные уравнения усредняются по Рейнольдсу, то есть используется усредненное по малому масштабу времени влияние турбулентности на параметры потока, а крупномасштабные временные изменения осредненных по малому масштабу времени составляющих газодинамических параметров потока (давления, скоростей, температуры) учитываются введением соответствующих производных по времени. В результате уравнения имеют дополнительные члены – напряжение по Рейнольдсу, а для замыкания этой системы уравнений в Flow Simulation используются уравнения переноса кинетической энергии турбулентности и ее диссипации в рамках k - ϵ модели турбулентности. Результатом компьютерных расчетов являются численные решения вышеуказанной модели, полученные с помощью метода конечных объемов.

Результаты. Получены траектории потока воздуха и поля скоростей воздуха для различных сечений сушильной камеры при различных значениях рабочих и конструктивных параметров. На основе полученных среднеинтегральных значений давления воздуха на входной и выходной поверхностях воздушных патрубков построены графики зависимости коэффициента местного сопротивления сушильной камеры от числа Рейнольдса.

Научная новизна. Впервые для сушильной камеры с центробежным псевдооживленным слоем продукта и инфракрасным теплоподводом получена конструкция, которая позволяет обеспечить интенсивное взаимодействие потока воздуха с продуктом независимо от параметров перфорации барабана.

Практическая значимость полученных результатов заключается в использовании их при разработке технологического оборудования для сушки мелкокусковых растительных продуктов, моделировании процессов их сушки.

Ключевые слова: аэродинамика, поле скорости, поток воздуха, компьютерное моделирование.

Objective. The purpose of article is to carry out computer simulations of aerodynamics in the drying chamber with centrifugal fluidized bed of product and infrared heat supply, as well as its design optimization based on the analysis of simulation results.

Methods. Modeling carried out in Flow Simulation, which is integrated into the editing software Solid Works. In this program, the movement of the fluid is modeled by the Navier-Stokes equations. They describe the laws of conservation of mass, momentum and energy of this fluid in the transient state. For simulation of turbulent flow, these equations are averaged over Reynolds, i.e. used the influence of turbulence on the flow parameters averaged over a small time scale. Large-scale temporal changes in the components of the gasdynamic flow averaged over a small time scale (pressure-velocity, temperature) are accounted for by applying appropriate time deriva-

tives. As a result, the equations have more members – the Reynolds stress. To close this system of equations used in the Flow Simulation of the transport equation of turbulent kinetic energy and its dissipation within the k - ϵ turbulence model. The result of computer calculations is numerical solutions of the above model, obtained by the finite volume method.

Results. The trajectories of air flow and air velocity fields for various sections of the drying chamber for different values of operating and design parameters are obtained. We have constructed a graph of the drying chamber drag coefficient of the Reynolds number based on the mean integral values of air pressure at the inlet and outlet surfaces of air nozzles.

Scientific novelty. We first obtained a construction which allows air flow intensive interaction with the product regardless of the perforation of the drum for drying chamber with centrifugal fluidized bed and infrared heat supply.

Practical value. The practical significance of the results is to use them in the design of process equipment for drying small-sized plant products, modeling of drying them.

Key words: aerodynamics, velocity field, the flow of air, computer simulation.

Рекомендовано до публікації д-ром техн. наук проф. Скіданом І.А.

Дата надходження рукопису 21.11.2013 р.

УДК 637.52-635.82

Пешук Л.В., д-р с.-г. наук, проф.,
Гащук О.І., канд. техн. наук,
Москалюк О.Є.

Національний університет харчових технологій,
м. Київ, Україна, e-mail: Ohaschuk@mail.ru

ПЕРСПЕКТИВИ ВИКОРИСТАННЯ КУЛЬТИВОВАНИХ ГРИБІВ У ІННОВАЦІЙНИХ М'ЯСНИХ ПРОДУКТАХ

Peshuk L.V., Dr. Sc. (Agricul.), Prof.,
Haschuk A.I., Cand. Sc. (Tech.),
Moskalyuk O.E.

National University of food technologies, Kiev,
Ukraine, e-mail: Ohaschuk@mail.ru

PROSPECTS FOR THE USE OF CULTIVATED MUSHROOMS IN INNOVATIVE MEAT PRODUCTS

1

Мета. Мета полягає в дослідженні експериментальним шляхом можливості використання культивованих грибів, а саме печериць, глив, шії таке, як білковмісної сировини у виробництві м'ясних продуктів, зокрема варених ковбас, сосисок, м'ясних хлібів.

Методика. У роботі використовувалися методики органолептичних, фізико-хімічних, функціонально-технологічних, структурно-механічних досліджень розроблених продуктів і здійснено кваліметричну оцінку м'ясних продуктів з грибною сировиною.

Результати. На підставі проведених експериментальних досліджень доведено доцільність і ефективність використання культивованих грибів і визначено їх оптимальний вміст у фаршах варених ковбас, сардельок, м'ясних хлібів, який становить: печериці – 25%, гливи – 35% і шіїтаке – 30%. Також було досліджено комплекс показників якості розроблених м'ясних продуктів з грибною сировиною та встановлено, що вони відповідають зазначеним групам ковбасних виробів.

Наукова новизна. Встановлено та обґрунтовано, що додавання грибної сировини до 35% не змінює органолептичні показники розроблених м'ясопродуктів.