

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ

ХАРКІВСЬКИЙ ДЕРЖАВНИЙ УНІВЕРСИТЕТ ХАРЧУВАННЯ ТА ТОРГІВЛІ

САВЧЕНКО-ПЕРЕРВА МАРИНА ЮРІЇВНА



УДК 621.928.37

**УДОСКОНАЛЕННЯ ВИХРОВИХ АПАРАТІВ
ДЛЯ ІНТЕНСИФІКАЦІЇ ПРОЦЕСУ ВЛОВЛЕННЯ
ПИЛОПОДІБНИХ ПРОДУКТІВ В ХАРЧОВІЙ ПРОМИСЛОВОСТІ**

Спеціальність 05.18.12 – процеси та обладнання харчових,
мікробіологічних та фармацевтичних виробництв

АВТОРЕФЕРАТ
дисертації на здобуття наукового ступеня
кандидата технічних наук

Харків –2015

Дисертацією є рукопис.

Робота виконана у Сумському національному аграрному університеті Міністерства освіти і науки України.

Науковий керівник: доктор технічних наук, професор
Якуба Олександр Радіонович,
Сумський національний аграрний університет,
завідувач кафедри інженерних технологій
харчових виробництв

Офіційні опоненти: доктор технічних наук, професор
Потапов Володимир Олексійович,
Харківський державний університет
харчування та торгівлі, завідувач
кафедри холодильної та торговельної
техніки і прикладної механіки

кандидат технічних наук, доцент
Куц Віктор Петрович,
Тернопільський національний технічний
університет імені Івана Пулюя, професор
кафедри обладнання харчових технологій

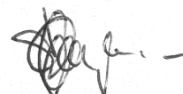
Захист відбудеться «17» грудня 2015 р. о 14⁰⁰ на засіданні спеціалізованої вченої ради Д64.088.01 Харківського державного університету харчування та торгівлі за адресою: вул. Клочківська, 333, м. Харків, 61051.

З дисертацією можна ознайомитися у бібліотеці Харківського державного університету харчування та торгівлі за адресою: вул. Клочківська, 333, м. Харків, 61051.

Автореферат розісланий «16» листопада 2015 р.

Учений секретар
спеціалізованої вченої ради

В.М. Онищенко



ЗАГАЛЬНА ХАРАКТЕРИСТИКА РОБОТИ

Актуальність теми. Харчова промисловість України за останнє десятиліття була суттєво реконструйована, оновлена, досягла значної різноманітності асортименту продукції та досить високої її якості. Актуальним питанням подальшого розвитку національної економіки є розширення зовнішнього ринку збуту продукції, що потребує нового етапу реконструкції і технологічної модернізації виробничих потужностей підприємств харчової промисловості і особливо машинобудування.

Одним з поширених процесів харчової промисловості є пиловловлювання. Очищення сухої речовини в наш час дуже актуальне, оскільки від ефективності відокремлення дисперсних частинок із запилених газів залежить вихід готового продукту. В той же час, широко розповсюджені відцентрові апарати по-перше, є достатньо дорогим обладнанням, а по-друге, не забезпечують 100% виходу чистого продукту. В технологічних процесах найчастіше використовуються центробіжні пиловловлювачі – циклони. Вони прості у виготовленні та експлуатації, але не забезпечують вловлювання частинок менших ніж 10 мкм, а загальна ефективність пиловловлення складає близько 80%. Нові розробки – вихрові пиловловлювачі – апарати із зустрічними закрученими потоками (АЗЗП) зменшують нижній край частинок, що вловлюються, до 3...5 мкм та мають ефективність більшу ніж 90%, але область досліджень цих апаратів залишається недостатньо вивченою.

Апарати із зустрічними закрученими потоками можуть бути використані замість циклонів ЦН-15, ЦН-15У для вловлювання різних харчових пилоподібних продуктів зі збереженням їх якості для подальшого використання в харчовій промисловості, наприклад, для вловлювання цукрового пилу, казеїну, розчинної кави, какао, барди, сухого жому, сухого молока та інших харчових пилоподібних продуктів після сушарок, борошна з пневмотранспортної лінії, а також як перший ступінь – очищення в системах аспірації та пневмотранспорту зернопереробних підприємств. Їх впровадження дозволить підвищити продуктивність апаратів, зменшити габарити установок та енерговитрати на процеси, які в них протікають.

АЗЗП, як багатфункціональні прилади, використовуються для сушіння сипучих та зернистих матеріалів, розділення газових та рідинних неоднорідних сумішей, сушіння на інертних тілах паст і концентрованих суспензій, гранулювання продуктів та тонкодисперсних матеріалів: органічних барвників, пігментів, мінеральних добрив, харчових продуктів, фармацевтичних препаратів, процесів високотемпературної обробки полідисперсних систем.

Незважаючи на розширення впровадження вихрових апаратів, немає даних про повну заміну традиційних технологій: відстоювання, фільтрування, використання прямоточних апаратів тощо. Це пояснюється, зокрема, відсутністю надійних методів розрахунку процесів, які відбуваються у вихрових камерах, що говорить про необхідність продовження їх вивчення.

Аналіз публікацій вітчизняних та закордонних дослідників, таких як

П. М. Михайлов, А. С. Белоусов, Б. С. Сажин, О. Р. Якуба, D. F. Ciliberti та ін., свідчить про недостатньо розглянуті питання математичного моделювання процесу сепарації частинок в системі зустрічних закручених потоків (ЗЗП), а також напрямків конструктивного вдосконалення.

Викладене вище зумовлює актуальність обраної теми дисертації, спрямованої на дослідження відокремлення твердих частинок та підвищення загальної ефективності вловлювання в апаратах із зустрічними закрученими потоками шляхом їх конструктивного вдосконалення.

Зв'язок роботи з науковими програмами, планами, темами. Дисертаційна робота має науково-прикладний характер і виконана у відповідності з науковими напрямками роботи кафедри інженерних технологій харчових виробництв Сумського національного аграрного університету за темами: №0112u003127 «Інтенсифікація процесу сушіння після спиртової барди з удосконаленням системи пиловловлення» та №0113u008230 «Удосконалення апаратів із зустрічними закрученими потоками для підприємств харчового виробництва».

Мета і задачі дослідження. Метою дисертаційної роботи є удосконалення конструкції пиловловлюючого обладнання для харчової промисловості на базі вихрових апаратів із зустрічними закрученими потоками для підвищення загальної ефективності пиловловлення.

Для досягнення поставленої мети необхідно було вирішити наступні задачі:

- здійснити аналіз джерел літератури, патентних матеріалів про вплив факторів на процес пиловловлювання у відцентрових апаратах та апаратах із зустрічними закрученими потоками;
- провести експериментальні дослідження та встановити вплив конструктивних і технологічних параметрів на рух та відокремлення твердих частинок із запиленого повітря в сепараційному просторі та визначити чинники, що призводять до зменшення ефективності АЗЗП;
- розробити математичну модель для визначення гальмуючого впливу вхідного моменту кількості руху у первинному завихрювачі та запропонувати конструктивні зміни у АЗЗП для усунення гальмуючого впливу вхідного моменту кількості руху;
- провести експериментальні дослідження для визначення полів швидкостей в удосконалених АЗЗП за допомогою п'ятиканального зонду;
- провести експериментальні дослідження з визначення загальної ефективності та проаналізувати діапазон вловлювання твердих частинок продукту в удосконалених АЗЗП та типовою моделлю;
- удосконалити методику розрахунку гідравлічних втрат для розроблених АЗЗП по первинному та вторинному каналах;
- виконати комплекс заходів щодо практичної реалізації результатів досліджень та визначити їх економічний ефект.

Об'єкт дослідження – гідродинамічні процеси при очищенні запиленого повітря в апаратах із зустрічними закрученими потоками.

Предмет дослідження – режимно-конструктивні параметри апарата із зустрічними закрученими потоками з циліндричною сепараційною камерою, які впливають на ефективність вловлювання частинок пилоподібного продукту.

Методи дослідження базуються на теоретичному та експериментальному визначенні гідродинамічних характеристик двофазних потоків у АЗЗП згідно прийнятих положень «Єдиної методики» порівняння вихрових апаратів. Застосовано експериментальні методики визначення локальних полів швидкостей, ефективності пиловловлювання, дисперсного аналізу пилоподібного продукту на спеціально розроблених стендах, теоретичні методики, що базуються на основних рівняннях гідродинаміки та вирішенням їх із застосуванням стандартних прикладних програмних продуктів.

Наукова новизна одержаних результатів полягає у вирішенні науково-прикладного завдання підвищення ефективності апаратів із зустрічними закрученими потоками за рахунок їх конструктивного вдосконалення. На підставі проведених теоретичних та експериментальних досліджень визначені умови для більш ефективної роботи АЗЗП з циліндричною сепараційною камерою, а саме:

- вперше встановлено наявність гальмуючого впливу вхідного моменту кількості руху у апараті із зустрічними закрученими потоками з циліндричною сепараційною камерою на ефективність пиловловлювання в цілому;

- доведено, що забезпечення еквівалентних співвідношень між витратами та вхідними моментами кількості руху для вхідних потоків ($L_{ex2} : L_{ex1} = 2:1$ та $M_{ex2} : M_{ex1} = 2:1$) за рахунок конструктивних змін в нижній циліндричній частині АЗЗП дозволяє уникнути гальмуючого впливу;

- розроблено рівняння моменту кількості руху для АЗЗП з метою визначення раціональної конструкції циліндричної сепараційної камери, яка забезпечує підвищення загальної ефективності пиловловлювання;

- науково обґрунтовано раціональні діаметри завихрювача первинного потоку відносно діаметру камери циліндричної частині апарату, що забезпечують підвищення вхідного моменту кількості руху у первинному потоці: для АЗЗП з двома конусами $d_2 = 0,95 \div 1,0D_0$, для АЗЗП з одним конусом та АЗЗП з дисками до $d_2 = 1,1 \div 1,2D_0$;

- отримано емпіричні залежності, що дозволяють з достатньою для технічних цілей точністю оцінювати величини складових швидкостей у будь-якій точці сепараційної камери АЗЗП;

- експериментально визначено дисперсний розподіл твердих частинок у запиленому повітрі вдосконалених АЗЗП, найменшу фракцію частинок, що сепаруються у АЗЗП, та загальну ефективність апарату.

Практичне значення одержаних результатів:

- розроблено конструкції апаратів із зустрічними потоками, в яких усунуто гальмуючий вплив вхідного моменту кількості руху у первинному завихрювачі на ефективність пиловловлення, розроблено інструкцію з експлуатації та технічний опис удосконаленого АЗЗП;

– підвищено загальну ефективність вловлювання пилоподібного продукту розробленими АЗЗП на 5,4%;

– визначено, що вдосконалені АЗЗП можуть вловлювати найменшу фракцію частинок сухого молока з найменшим розміром 1,99 мкм;

– отримано математичні залежності для розрахунку гідравлічних втрат удосконаленої моделі апарату із зустрічними закрученими потоками;

реалізація роботи:

– обладнання для попереднього очищення сільськогосподарської продукції (соняшникового насіння, пшениці, кукурудзи та ін.) від забруднень на виході із сепаратора «БСХ-700» перед подачею її на сушарку впроваджено у виробництво на ТОВ «Рубіжне-Агро» (акт впровадження від 12.12.2013 р.), обладнання для вловлювання дрібнодисперсних частинок сухого молока після попереднього його висушування в сушарці – на ЗАТ Маслозавод «Прилуки» (акт впровадження від 15.05.2013 р.);

– матеріали дисертації використовуються у навчальному процесі в Сумському національному аграрному університеті при викладенні теоретичного та практичного курсу «Процеси та апарати харчових виробництв» (акт впровадження від 31.03.2015 р.).

На технічні рішення з удосконалення конструкції апаратів із зустрічними потоками одержано патенти України на корисну модель №52244 та №90412.

Особистий внесок здобувача полягає в аналізі стану проблеми, формулюванні мети досліджень, постановці завдань досліджень, проведенні патентного пошуку та теоретичних розрахунків, розробці експериментальних установок, здійсненні наукових експериментів, обробці дослідних даних, узагальненні отриманих результатів, підготовці матеріалів до публікації та складанні заявок на корисні моделі, розробці інструкції по експлуатації і проведенні заходів із впровадження науково-технічних розробок у виробництво.

Апробація результатів дослідження. Матеріали дисертації обговорювалися на міжнародних конференціях: International Conference on Compressors and their Systems (City University London, 2009 р.); Міжнародній науково-практичній конференції, присвяченій 75-річчю з дня народження ректора університету Беляєва Михайла Івановича «Прогресивна техніка та технології харчових виробництв, ресторанного та готельного господарств і торгівлі. Економічна стратегія і перспективи розвитку сфери торгівлі та послуг» (м. Харків, 2013 р.); 80 Міжнародній науковій конференції молодих учених, аспірантів і студентів «Наукові здобутки молоді – вирішенню проблем харчування людства у ХХІ столітті» (м. Київ, 2014 р.); 20 Міжнародній науковій конференції «Технології ХХІ сторіччя» (м. Южне, Одеська обл., 2014 р.); І Міжнародній науково-практичній конференції «Сучасні технології харчових виробництв» (м. Вінниця, 2015 р.); Всеукраїнській науково-практичній конференції молодих учених і студентів «Інноваційні технології розвитку у сфері харчових виробництв, готельно-ресторанного бізнесу, економіки та підприємництва: наукові пошуки молоді» (м. Харків, 2015 р.).

Публікації. Основні матеріали дисертаційної роботи викладені у 13 наукових працях (з них 1 – одноосібна), у тому числі: 7 статей у затверджених наукових фахових виданнях України (з них 1 – у виданні, яке включено до міжнародних наукометричних баз); 2 патенти України на корисну модель; 4 матеріали конференцій та тези доповідей.

Структура та обсяг дисертації. Дисертаційна робота складається зі вступу, 4 розділів, висновків, списку використаних джерел із 117 найменувань та 7 додатків. Обсяг основного тексту дисертації становить 108 сторінок та включає 42 рисунка і 12 таблиць.

ОСНОВНИЙ ЗМІСТ РОБОТИ

У **вступі** обґрунтовано актуальність теми роботи та показано її значення у вирішенні прикладного завдання удосконалення існуючих конструкцій апаратів із зустрічними закрученими потоками для підвищення ефективності вловлювання пилоподібних продуктів у харчовій промисловості. Сформульовано мету та задачі дослідження, визначено наукову новизну та практичне значення, наведено відомості щодо апробації роботи, публікації автора, надано загальну характеристику роботи.

У **першому розділі** «Загальні відомості про пиловловлювачі» розглянуто сучасний стан теоретичних досліджень пиловловлювачів відцентрового типу. Викладена методика розділення аерозолів, що дало змогу розробити метод розрахунку полів швидкостей для вдосконалених апаратів із зустрічними закрученими потоками. Наведено математичні моделі процесу руху частинки, завдяки яким можна визначити оптимальну висоту циліндричної частини корпусу не тільки пиловловлювачів протитечного типу, а й апаратів із зустрічними закрученими потоками. Наведено основні відомості про пиловловлюючі апарати, зокрема вихрові апарати із зустрічними закрученими потоками, про моделювання гідродинаміки потоку, з якого виявлено ефект зниження обертального руху повітря у первинному потоці, що гальмує процес сепарації твердих частинок продукту та знижує загальну ефективність вловлювання. Описані джерела з порівняльним аналізом ефективності вловлювання пилоподібних продуктів апаратами різних типів та їх гідравлічного опору, завдяки чому було вирішено в дисертації гідравлічний опір розраховувати ступінчато, по залежностях, розроблених О.Р. Якубою за участю автора.

У **другому розділі** «Матеріали, об'єкти, методи досліджень апаратів із зустрічними закрученими потоками» як основний керівний матеріал для організації і проведення експериментальних досліджень моделей АЗЗП прийняті положення «Єдиної методики» порівняння вихрових апаратів.

Розглянуто характеристики типової моделі апарату із зустрічними закрученими потоками (рис. 1), визначено її недоліки та методи удосконалення шляхом проведення експериментів на спеціально розроблених стендах.

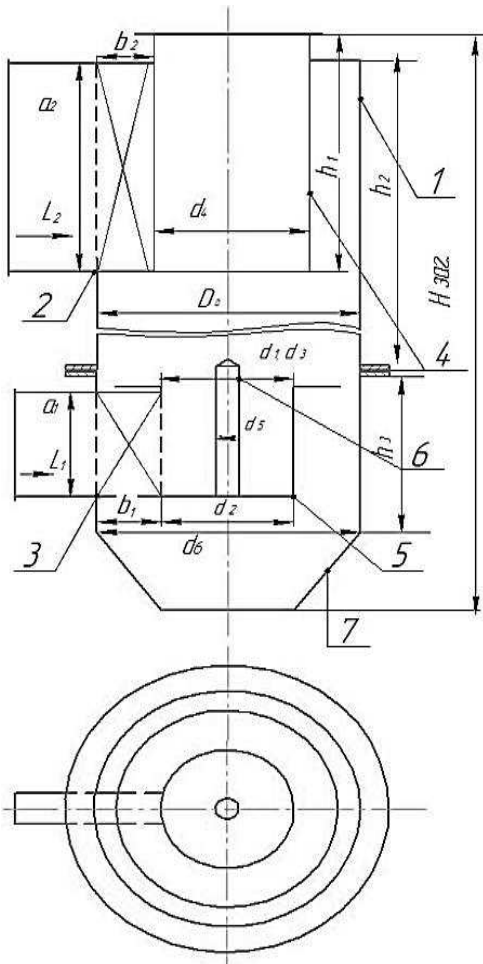


Рис.

1. Типова конструкція апарату із зустрічними закрученими потоками: 1 – корпус; 2 – тангенційний вхід зовнішнього (вторинного) потоку; 3 – осьове нижнє (первиннє) вхідне улаштування; 4 – вихідна труба; 5 – відбійна шайба; 6 – витискувач потоку; 7 – конічний бункер, D_0 – внутрішній діаметр сепараційної камери; d_1 – діаметр виходу первинного потоку; d_2 – діаметр вихрового завихрювача; d_3 – діаметр обтікання первинного потоку; d_4 – діаметр вихідної труби (зовнішній); d_5 – діаметр витискувача (внутрішній); d_6 – діаметр нижньої циліндричної частини пиловловлювача; $H_{заг}$ – загальна висота апарату; h_1 – загальна висота вихлопної труби; h_2 – висота сепараційної камери; h_3 – висота нижньої циліндричної частини пиловловлювача; a_1 – висота патрубку первинного потоку; b_1 – ширина патрубка первинного потоку; a_2 – висота патрубка вторинного потоку; b_2 – ширина патрубка вторинного потоку

Було проаналізовано величину вхідного моменту кількості руху у первинному потоці на обертальний рух потоку повітря в існуючій типовій моделі АЗЗП та встановлено його гальмуючий вплив на ефективність сепарації внаслідок низької обертальної швидкості потоку. Запропоновано конструктивне рішення для усунення виявленого недоліку за рахунок вирівнювання кількісного співвідношення між вхідними моментами кількості руху $M_{ex2} : M_{ex1} = 2 : 1$ та витратами вхідних потоків повітря $L_{ex2} : L_{ex1} = 2 : 1$. Для визначення полів швидкостей, загальної ефективності та гідравлічних втрат типової та удосконаленої моделей АЗЗП були розроблені дослідницькі установки (рис. 2, 3).

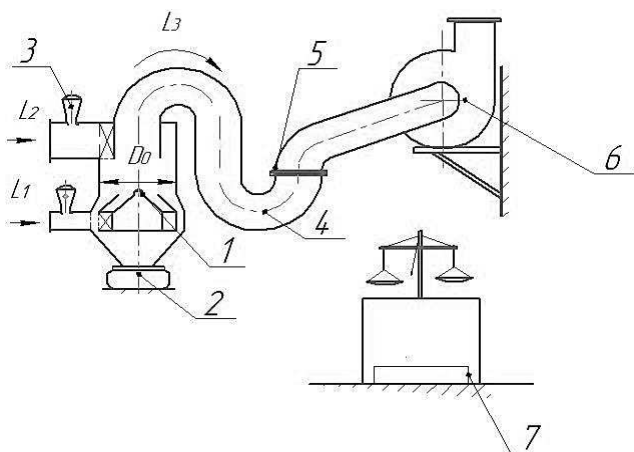


Рис. 2. Схема загального вигляду експериментального стенду для визначення загальної ефективності та гідравлічних втрат: 1 – АЗЗП; 2 – пилозбірник; 3 – система штучного запилення повітря; 4 – гнучкий повітропровід; 5 – регулятор витрати повітря; 6 – вентилятор ВВТ-3; 7 – система пилоприготування та аналізу дослідів

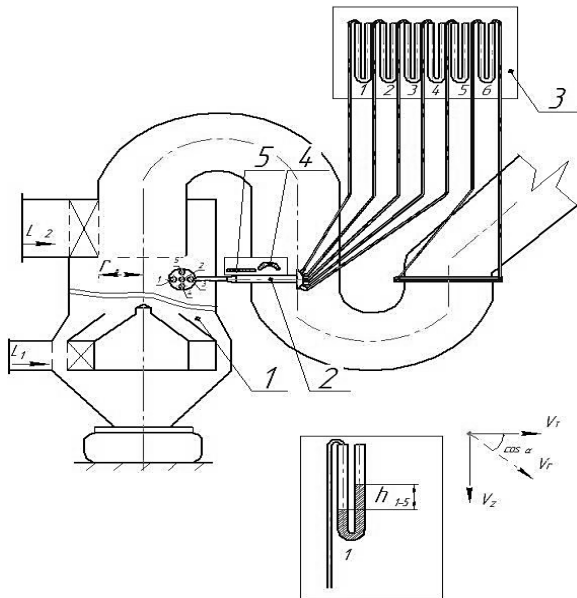


Рис. 3. Схема лабораторного стенду АЗЗП для встановлення аеродинамічних характеристик та гідравлічних втрат: 1 – АЗЗП; 2 – п'ятиканальний шаровий зонд; 3 – дошка з шістьма диференційними мікроманометрами; 4 – координатник; 5 – вимірювальна лінійка

Методика визначення величин швидкості проводилася за формулами, які засновані на критичному аналізі відомих методів визначення полів швидкостей; гідравлічних втрат шляхом аналітичних та експериментальних досліджень, спираючись на концепції В. Барта та О. Р. Якуби. Дисперсність і гранулометричний склад сухого продукту – за допомогою ВУП-5М (вакуумний універсальний пост) та електронного мікроскопу РЕМ 106 I з камерою низького вакууму. Для аналізу зображень використовували програмне забезпечення Med Calc Digimizer 4.0.

У **третьому розділі** «Теоретичні та експериментальні дослідження апаратів із зустрічними закрученими потоками» встановлено залежності швидкостей потоків повітря та гідравлічного опору на ефективність пиловловлювання, а також досліджено отримані зразки сухого молока на його дисперсний склад.

На основі запропонованої фізичної моделі руху повітря в удосконалених циліндричних апаратах із зустрічними закрученими потоками було отримано рівняння моменту кількості руху вхідного потоку:

$$M_{ex} = \frac{2}{3} \rho_{нов} \cdot L \cdot V_{ex} \cdot \frac{r_{зв}^3 - r_{вн}^3}{r_{зв}^2 - r_{вн}^2}, \quad (1)$$

де V_{ex} – вхідна швидкість потоку повітря, м/с; $\rho_{нов}$ – густина повітря, кг/м³; L – витрати повітря, м³/год; $r_{зв}, r_{вн}$ – зовнішній та внутрішній радіуси тангенціального завихрювача, м.

Згідно цього рівняння зі збільшенням діаметру нижнього завихрювача (нижньої циліндричної частини АЗЗП) до $d_2 = 0,95 \div 1,2D_0$ момент кількості руху в первинному потоці збільшується вдвічі, тим самим усувається його гальмуючий вплив, який має місце у типовій конструкції АЗЗП, де відношення вхідних моментів кількості руху в первинному потоці складало $M_{ex2} : M_{ex1} = 4 : 1$, а після удосконалення стало $M_{ex2} : M_{ex1} = 2 : 1$, що відповідає відношенню витрат вхідних потоків $L_{ex2} : L_{ex1} = 2 : 1$.

З метою встановлення ефективності удосконалених моделей було проведено комплекс заходів їх порівнювального аналізу з типовою моделлю, які включали аналітичні та експериментальні дослідження. Встановлення залежностей полів швидкостей від радіусу пиловловлювача (рис. 4) проводилося експериментальним способом за допомогою п'ятиканального зонду по трьом отворам в АЗЗП.

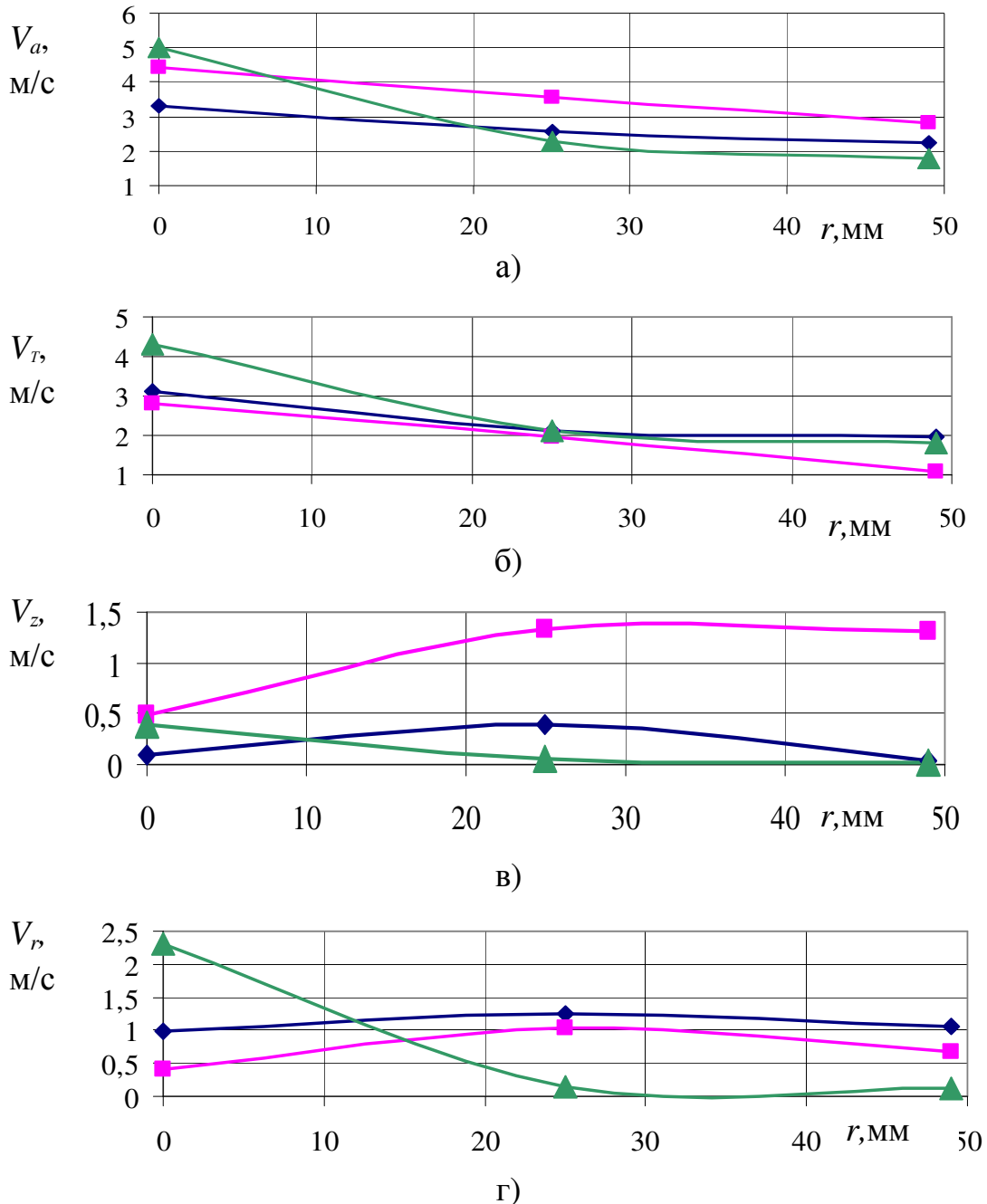


Рис. 4. Графіки швидкостей, замірених у другому отворі апаратів: а) модуль абсолютної швидкості V_a ; б) тангенційна швидкість V_T ; в) осьова швидкість V_z ; г) радіальна швидкість V_r ; ◆ – швидкість потоку в типовому АЗЗП; ■ – швидкість потоку в удосконаленому АЗЗП (з двома конусами); ▲ – швидкість потоку в удосконаленому АЗЗП (з одним конусом)

Із аналізу полів швидкостей, визначених в проведених експериментах, встановлено, що в удосконалених АЗЗП швидкості більше, ніж у типовій моделі АЗЗП, саме це призводить до інтенсифікації процесу пиловловлювання та сприяє підвищенню ефективності в цілому.

Експериментальним шляхом була визначена ефективність вловлювання типової моделі та удосконалених АЗЗП сухого молока, що отримане після вивантаження бункерів за допомогою рівняння:

$$\eta_{вл} = (G_{вл} / G_г) \cdot 100\%, \quad (2)$$

де $G_{вл}$ – вага вловленого сухого молока в бункері АЗЗП, кг; $G_г$ – вага сухого молока, яке входить до АЗЗП, кг.

Дисперсність і гранулометричний склад сухого продукту визначали за описаною вище методикою. Результати цих досліджень наведено в табл. 1.

Таблиця 1

Дисперсний склад сухого молока експериментальних зразків

Вид АЗЗП	Кількість твердих частинок, n	Середній діаметр частинок, $d_{сер}$, мкм	Найменший діаметр твердих частинок, d_m , мкм	Найбільший діаметр твердих частинок, $d_г$, мкм
Типова модель	89	31,13	2,55	142,00
АЗЗП (з двома конусами)	114	18,28	2,04	123,56
АЗЗП (з одним конусом)	99	25,59	1,99	135,51

Згідно наведених даних найменша фракція частинок, яка була вловлювана удосконаленим АЗЗП (з одним конусом) – 1,99 мкм, а типовою моделлю АЗЗП – 2,55 мкм.

Отримані дані були оброблені в середовищі програми Mathcad та представлені у вигляді інтегральних та диференціальних функцій розподілу для кожного проаналізованого зразка певного апарату (рис. 5, 6).

Інтегральні та диференціальні функції розподілу розмірів частинок, що вловлюються в апараті, з достатньою точністю описують експериментальні дані та дозволяють визначити найбільш вірогідний діапазон. Наведені дані підтверджують, що ефективність вловлювання твердих частинок з повітря в удосконаленому АЗЗП (з двома конусами) найвища (крива 2 на рис. 5), причому

найбільш ефективно вловлювання (близько 80%) відбувається для середніх та дрібних фракцій в межах від 10 мкм до 30 мкм (рис. 6).

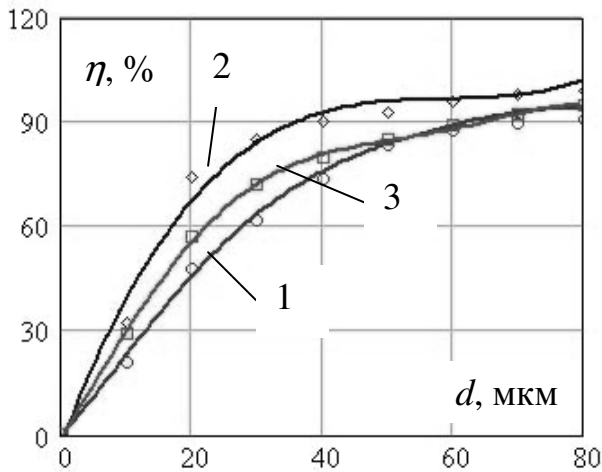


Рис. 5. Інтегральні функції розподілу розмірів частинок, що вловлюються, для трьох АЗЗП: 1 – типова модель; 2 – удосконалений АЗЗП (з двома конусами); 3 – удосконалений АЗЗП (з одним конусом)

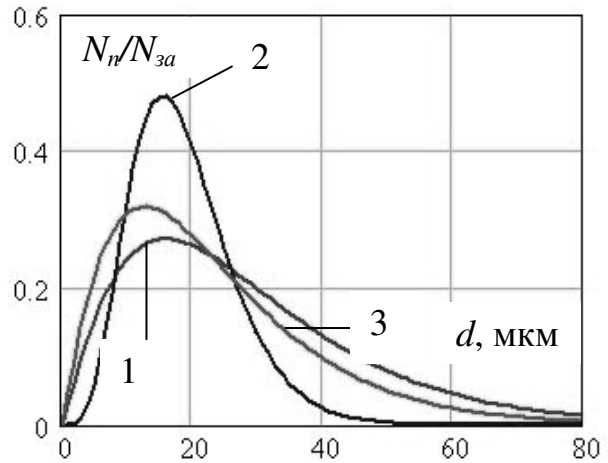


Рис. 6. Диференціальні функції розподілу розмірів частинок, що вловлюються, для трьох АЗЗП: 1 – типова модель; 2 – удосконалений АЗЗП (з двома конусами); 3 – удосконалений АЗЗП (з одним конусом)

Визначення гідравлічних втрат проводилось на лабораторному стенді (рис. 2, 3) з експериментальною моделлю АЗЗП, де було встановлено вентилятор високого тиску, а втрата тиску вираховувалася за диференціальним мікроманометром, який був підведений до трубопроводу перед вентилятором:

$$P_H = H \cdot \rho \cdot g, \quad (3)$$

де H – висота стовпа рідини, м; ρ – густина рідини, кг/м^3 ; g – прискорення сили тяжіння, м/с^2 .

Загальні значення теоретичних втрат тиску та енергоспоживання вираховувалися з рівнянь:

$$\Delta P_T = \xi_T \cdot \rho \cdot \frac{V_a^2}{2}, \quad E = \Delta P_T \cdot L_3, \quad (4, 5)$$

де ξ_T – коефіцієнт гідравлічного опору; V_a – умовна швидкість потоків, м/с ; ΔP_T – втрата тиску, визначена теоретичним шляхом, Па; E – енергоспоживання, Вт.

Порівняльна характеристика теоретичних та експериментальних даних удосконаленої моделі АЗЗП зображена на рис. 7.

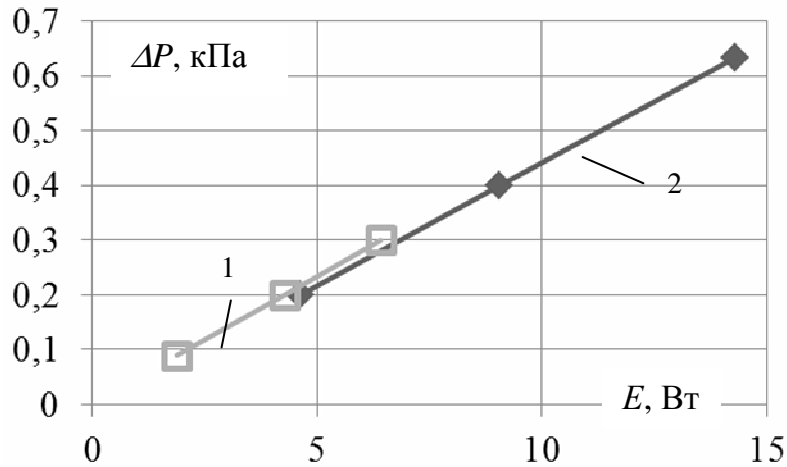


Рис. 7. Гідравлічні втрати та енергоспоживання удосконаленого АЗЗП: 1 – за теоретичними розрахунками; 2 – за експериментальними даними

У четвертому розділі «Конструкторські розробки та промислове впровадження апаратів із зустрічними закрученими потоками» представлено три розроблених моделі АЗЗП, дві з яких були запатентовані, надана їх порівняльна характеристика, проведено техніко-економічне обґрунтування, яке показало значний економічний ефект при впровадженні їх у харчове виробництво.

Порівняльна характеристика основних геометричних параметрів удосконалених та типової моделі АЗЗП представлена в табл. 2.

В удосконалених АЗЗП досягнута більша ефективність процесу пиловловлювання: АЗЗП з двома конусами – $\eta=99,6\%$, АЗЗП з дисками – $\eta=97,2\%$, АЗЗП з одним конусом – $\eta=98,6\%$, тоді як у типовій конструкції АЗЗП – $\eta=94,4\%$. Таким чином, за рахунок конструктивних змін в удосконалених АЗЗП ефективність пиловловлювання підвищили на 5,2% (по відношенню до типової конструкції).

На рис. 8-10 представлено три удосконалені моделі АЗЗП, особливістю яких є: усунення гальмуючого впливу за рахунок внесення конструктивних змін, які реалізують еквівалентне співвідношення вхідних моментів кількості руху $M_{\text{ex}2} : M_{\text{ex}1} = 2:1$ та витрат потоків повітря $L_{\text{ex}2} : L_{\text{ex}1} = 2:1$; зменшення поверхні та спрощення конфігурації конструктивних елементів, що призводить до зменшення прилипання і осадження сухого продукту; конусність конструктивних елементів АЗЗП, що спрощує потрапляння твердих частинок до бункеру.

В процесі експериментальної перевірки очищення повітря з частинками сухого молока в апаратах із зустрічними закрученими потоками було отримано наступні результати: типового АЗЗП з ефективністю вловлювання $\eta=94,4\%$, у якого вага одержаного сухого молока дорівнювала 47,2 г; удосконаленого АЗЗП

(з двома конусами) з ефективністю вловлювання $\eta=99,6\%$, у якого вага одержаного сухого молока – 49,8 г; удосконаленого АЗЗП (з одним конусом) з ефективністю вловлювання $\eta=98,6\%$, у якого вага одержаного сухого молока – 49,3 г. Таким чином, при безперервному виробництві (за добу) це приблизно складає 68 кг, 72 кг та 71,3 кг відповідно, а на рік – 18425 кг, 19440 кг та 19224 кг продукту відповідно.

Таблиця 2

Порівняльна характеристика АЗЗП

Умовні позначення параметру	Характеристика параметру	Типовий АЗЗП	Удосконалений АЗЗП (з двома конусами)	Удосконалений АЗЗП (з дисками)	Удосконалений АЗЗП (з одним конусом)
D_0	Діаметр корпусу, м	0,1	0,1	0,1	0,1
d_1	Діаметр виходу первинного потоку, м	0,05	0,05	0,05	0,07
$d_2 \approx d_u$	Діаметр вихрового завихрювача, м	0,05	0,1	0,12	0,12
d_3	Діаметр обтікання первинного потоку, м	0,05	0,06	0,08	0,08
d_4	Діаметр вихлопної труби, м	0,06	0,06	0,06	0,06
d_5	Діаметр витискувача, м	0,014	0,014	0,014	0,02
d_6	Діаметр нижньої циліндричної частини апарату, м	0,1	0,12	0,13	0,13

Економічний ефект від впровадження вдосконаленого апарату із зустрічними закрученими потоками оцінено за формулою:

$$E = (M_1 - M_2) \cdot A, \quad (6)$$

де E – чистий економічний ефект, грн; M_1 – отримана вага сухого молока типового АЗЗП, т; M_2 – отримана вага сухого молока удосконаленого АЗЗП т; A – вартість сухого молока (знежирене до 1,5%), в середньому – 55000 грн/т.

Отже, економічний ефект удосконаленого АЗЗП (з двома конусами) складає 55825 грн/рік, а економічний ефект удосконаленого АЗЗП (з одним конусом) – 43945 грн/рік.

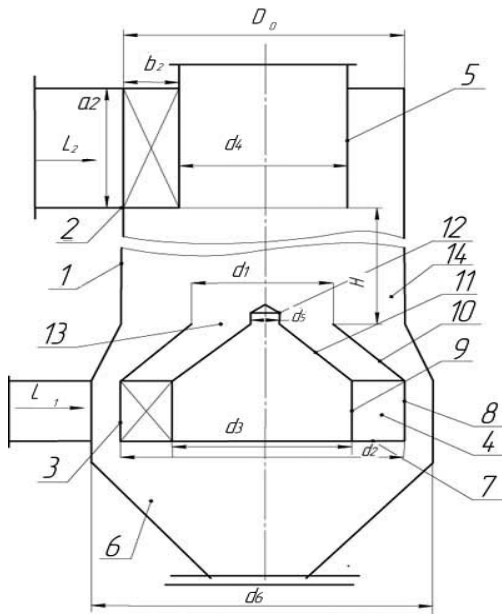


Рис. 8. Схема удосконаленого АЗЗП (з двома конусами): 1 – корпус; 2 – тангенційний вхід зовнішнього (вторинного) потоку; 3 – осьове нижнє (первинне) улаштування; 4 – завихрювач первинного потоку; 5 – вихідна труба; 6 – конічний бункер; 7 – плоске дно шайби; 8 – зовнішня оболонка; 9 – внутрішня оболонка; 10, 11 – конічні оболонки; 12 – витискувач потоку; 13 – отвір виходу первинного потоку; 14 – отвір між шайбою та корпусом пиловловлювача

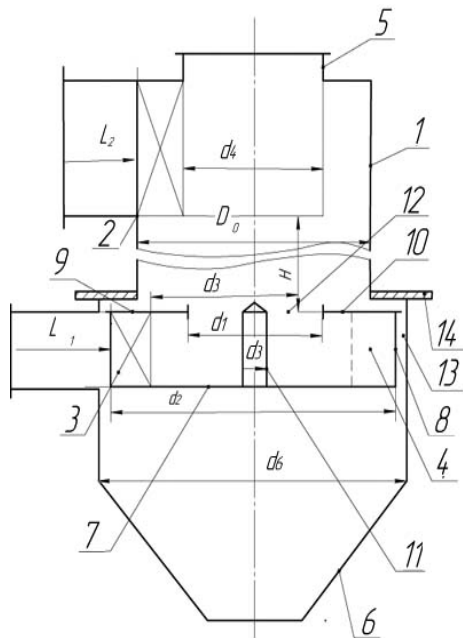


Рис. 9. Схема удосконаленого АЗЗП (з дисками): 1 – корпус; 2 – тангенційний вхід зовнішнього (вторинного) потоку; 3 – осьове нижнє (первинне) улаштування; 4 – завихрювач первинного потоку; 5 – вихідна труба; 6 – конічний бункер; 7 – плоске дно шайби; 8 – зовнішня оболонка; 9, 10 – зовнішні плоскі кришки; 11 – витискувач потоку; 12 – отвір виходу первинного потоку; 13 – отвір між шайбою та корпусом пиловловлювача; 14 – фланці

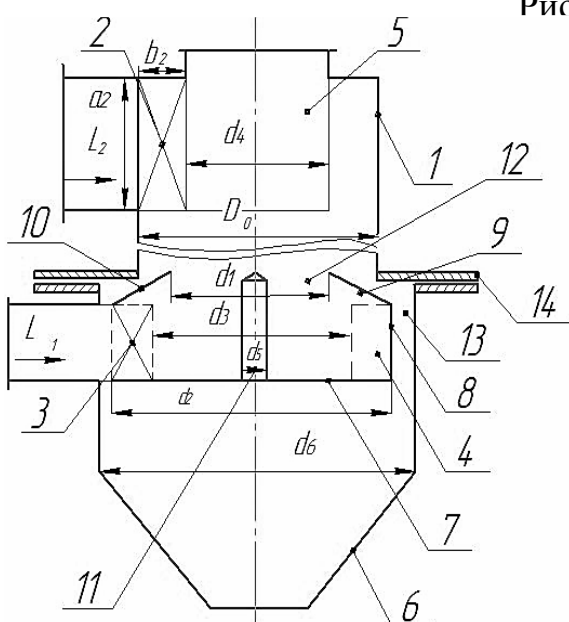


Рис. 10. Схема удосконаленого АЗЗП (з одним конусом): 1 – корпус; 2 – тангенційний вхід зовнішнього (вторинного) потоку; 3 – осьове нижнє (первинне) улаштування; 4 – завихрювач первинного потоку; 5 – вихідна труба; 6 – конічний бункер; 7 – плоске дно шайби; 8 – зовнішня оболонка; 9, 10 – зовнішні оболонки у вигляді конусу; 11 – витискувач потоку; 12 – отвір виходу первинного потоку; 13 – отвір між шайбою та корпусом пиловловлювача; 14 – фланці

ВИСНОВКИ

1. В результаті аналізу літературних джерел та патентних матеріалів, присвячених гідродинамічним процесам та апаратам для очищення запиленого повітря, доведено перспективність апаратів із зустрічними закрученими потоками та встановлено перспективні напрямки для їх вдосконалення.

2. Теоретично встановлено та експериментально підтверджено, що критичним фактором, який впливає на загальну ефективність процесу пиловловлювання в апаратах із зустрічними закрученими потоками, є наявність гальмуючого впливу, що призводить до падіння осьової швидкості запиленого потоку повітря.

3. На основі отриманого рівняння моменту кількості руху для вхідних потоків у АЗЗП запропоновано конструктивні зміни в циліндричній сепараційній камері, які дозволяють уникнути гальмуючого впливу шляхом забезпечення однакових співвідношень між витратами та моментами кількості руху для вхідних потоків ($L_{\text{вх}2} : L_{\text{вх}1} = 2:1$ та $M_{\text{вх}2} : M_{\text{вх}1} = 2:1$).

Визначено раціональні діаметри завихрювача первинного потоку відносно діаметру камери циліндричної частини апарату, які забезпечують усунення гальмуючого впливу: $d_2 = 0,95 \div 1,0D_0$ для АЗЗП з двома конусами, $d_2 = 1,1 \div 1,2D_0$ для АЗЗП з одним конусом та для АЗЗП з дисками.

4. Експериментально визначено поля швидкостей в удосконалених АЗЗП та підтверджено, що інтенсифікація процесу сепарації твердих частинок із запиленого повітря викликана збільшенням швидкостей по всіх отворах апарату на 30...50% у порівнянні з типовою моделлю АЗЗП.

5. Експериментально підтверджено підвищення загальної ефективності пиловловлення в удосконалених АЗЗП: з двома конусами – до $\eta = 99,6\%$, з дисками – до $\eta = 97,2\%$, з одним конусом – до $\eta = 98,6\%$, що в середньому на 5,2% більше, ніж у типовій моделі АЗЗП, а найменша фракція частинок сухого молока, яка сепарується в удосконалених АЗЗП, складає 1,99 мкм.

6. Удосконалено методику розрахунку гідравлічних втрат АЗЗП по первинному та вторинному каналах та експериментально підтверджено, що втрати тиску в удосконалених АЗЗП ($\Delta P = 634$ Па) не перевищують втрати типової конструкції.

7. Розроблено конструкції апаратів із зустрічними закрученими потоками – АЗЗП з двома конусами, АЗЗП з дисками та АЗЗП з одним конусом – (патенти України на корисну модель №52244 та №90412). Здійснено впровадження АЗЗП з двома конусами замість циклонів ЦН-15У на ЗАТ Маслозавод «Прилуки» та ТОВ «Рубіжне-Агро». Розраховано економічний ефект, який складає 55825 грн/рік для АЗЗП з двома конусами та 43945 грн/рік – для АЗЗП з одним конусом.

СПИСОК ОПУБЛІКОВАНИХ ПРАЦЬ ЗА ТЕМОЮ ДИСЕРТАЦІЇ

1. Якуба О. Р. Удосконалення рівнянь для розрахунку структури потоків у циліндричних протитечних апаратах / О. Р. Якуба, М. Ю. Савченко, Т. В. Колодка // Вісник Сумського національного аграрного університету. Серія: Механізація та автоматизація виробничих процесів. – 2005. – Вип. 11(14). – С. 124-131. *Здобувачем запропоновано уточнені рівняння розрахунку полів швидкостей в циліндричному протитечному пиловловлювачі – циклоні.*

2. Якуба О. Р. Розрахунок фракційної ефективності апаратів із зустрічними закрученими потоками / О. Р. Якуба, М. Ю. Савченко // Вісник Сумського національного аграрного університету. Серія: Механізація та автоматизація виробничих процесів. – 2008. – Вип. 1(17). – С. 34-39. *Здобувачем запропоновано математичні моделі фракційної ефективності для вдосконалених апаратів із зустрічними закрученими потоками.*

3. Якуба О. Р. Удосконалення апаратів із зустрічними закрученими потоками для пиловловлення / О. Р. Якуба, В. В. Касянчук, М. Ю. Савченко // Вісник Сумського національного аграрного університету. Серія: Механізація та автоматизація виробничих процесів. – 2008. – Вип. 2(18). – С. 85-89. *Здобувачем проведено аналіз утворення закручених потоків в пиловловлювачах, зроблено розрахунки по геометричним параметрам та прорахована фракційна ефективність АЗЗП-200.*

4. Савченко-Перерва М. Ю. Інтенсифікація процесу сушіння молочних продуктів / М. Ю. Савченко-Перерва, О. Р. Якуба // Наукові праці Одеської національної академії харчових технологій. Серія: Технічні науки : зб. наук. пр. / ОНАХТ. – Одеса : ОНАХТ, 2012. – Вип. 41. – Т. 2. – С. 157-160. *Здобувачем проаналізована роль центробіжних пиловловлювачів в технологічному процесі сушіння молочних продуктів на розробленій сушарці з інертним псевдозрідженим шаром.*

5. Савченко-Перерва М. Ю. Розрахунок втрат тиску апарата із зустрічними закрученими потоками після вдосконалення для харчової промисловості / М. Ю. Савченко-Перерва, О. Р. Якуба // Праці Таврійського державного агротехнологічного університету : зб. наук. пр. / ТДАТУ. – Мелітополь : ТДАТУ, 2014. – Вип. 14. – Т. 1. – С. 160-167. *Здобувачем запропоновано узагальнені та оптимальні розрахунки знаходження втрат тиску у апаратах із зустрічними закрученими потоками.*

6. Савченко-Перерва М. Ю. Удосконалення апаратів із зустрічними закрученими потоками для харчових виробництв / М. Ю. Савченко-Перерва, О. Р. Якуба // Прогресивні техніка та технології харчових виробництв ресторанного господарства і торгівлі : зб. наук. пр. / Харк. держ. ун-т харч. та торг. – Харків : ХДУХТ, 2014. – Вип. 1(19). – С. 142-147. *Здобувачем проведено експериментальні дослідження та було внесено конструктивні зміни у типову модель АЗЗП.*

7. Савченко-Перерва М. Ю. Підвищення ефективності апаратів із зустрічними закрученими потоками для харчової промисловості / М. Ю.

Савченко-Перерва, О. Р. Якуба // Східно-Європейський журнал передових технологій. – 2015. – № 3/10(75). – С. 43-48 (стаття у науковому фаховому виданні України, яке включено до міжнародних наукометричних баз – Index Copernicus, Російський індекс наукового цитування (РИНЦ), Ulrich's Periodicals Directori, DRIVER, Bielefeld Academic Search Engine (BASE), WorldCat, Electronic Journals Library, DOAJ, EBSCO, Researchlib, American Chemical Society). *Здобувачем проведено теоретичні та експериментальні дослідження аналогового та розроблених АЗЗП з метою усунення гальмуючого впливу вхідного моменту кількості руху, визначено основне місце моделі АЗЗП для конструктивного вдосконалення.*

8. Пат. на корисну модель 52244 Україна, МПК В 04 С 3/00. Вихровий пиловловлювач / Савченко-Перерва М. Ю., Якуба О. Р. (Україна) ; заявник і патентовласник Сум. нац. агр. ун-т. – № u200912589 ; заявл.04.12.2009 ; опубл. 25.08.2010, Бюл. № 16. – 4 с. *Здобувачем проведено патентний пошук, запропоновано режимні параметри, підготовлено заявку на корисну модель.*

9. Пат. на корисну модель 90412 Україна, МПК В 04 С 3/00. Вихровий пиловловлювач / Савченко-Перерва М. Ю., Якуба О. Р. (Україна) ; заявник і патентовласник Сум. нац. агр. ун-т. – № u201315050 ; заявл.23.12.2013 ; опубл. 26.05.2014, Бюл. № 10. – 4 с. *Здобувачем проведено патентний пошук, розроблено конструкцію лабораторної установки, сформульовано формулу винаходу.*

10. Yakuba A. The investigation and working out of drop- and dust catchers for compressor station / A. Yakuba, S. Sabadash, M. Savchenko // International Conference on Compressors and their Systems, 7-9 September 2009 : proceedings / Institution of Mechanical Engineers. – Oxford : Chandos Publishing, 2009. – P. 421-431. *Здобувачем запропоновано конструктивні зміни існуючого конічного та циліндричного пиловловлюючого обладнання та рівняння фракційної ефективності у внутрішньому та зовнішньому шарі.*

11. Савченко-Перерва М. Ю. Вибір оптимальної конструкції відцентрового пиловловлювача для підприємств харчової промисловості / М. Ю. Савченко-Перерва, О. Р. Якуба // Наукові здобутки молоді – вирішенню проблем харчування людства ХХІ столітті : 80 міжнар. наук. конф. молодих учених, асп. і студ., 10-11 квітня 2014 р. : тези доп. – У 2 ч. – Київ : НУХТ, 2014.– Ч. 2. – С. 75-76. *Здобувачем проведено порівняльну характеристику існуючих пиловловлювачів та обрано оптимальну конструкцію – апарат із зустрічними закрученими потоками.*

12. Савченко-Перерва М. Ю. Розрахунок втрат тиску апарата із зустрічними закрученими потоками після вдосконалення для харчової промисловості / М. Ю. Савченко-Перерва, О. Р. Якуба // Технології ХХІ сторіччя : ХХ Міжнар. наук. конф., 15-19 вересня 2014 р. : тези доп. – Южне : СНАУ, 2014. – С. 89-90. *Здобувачем розроблено теоретичні залежності з визначення втрат тиску апаратами із зустрічними закрученими потоками.*

13. Савченко-Перерва М. Ю. Підвищення ефективності пиловловлювачів за рахунок їх конструктивних змін / М. Ю. Савченко-Перерва // Сучасні

технології харчових виробництв. Технічні та сільськогосподарські науки : I Міжнар. наук.-практ. конф., 26-27 березня 2015 р. : матер. – Вінниця : Вінницький нац. агр. ун-т, 2015. – С. 69-71.

АНОТАЦІЯ

Савченко-Перерва М.Ю. Удосконалення вихрових апаратів для інтенсифікації процесу вловлення пилоподібних продуктів в харчовій промисловості. – На правах рукопису.

Дисертація на здобуття наукового ступеня кандидата технічних наук за спеціальністю 05.18.12 – процеси та обладнання харчових, мікробіологічних та фармацевтичних виробництв. – Харківський державний університет харчування та торгівлі Міністерства освіти і науки України, Харків, 2015.

Дисертація присвячена вирішенню науково-прикладного завдання підвищення ефективності апаратів із зустрічними закрученими потоками (АЗЗП) за рахунок їх конструктивного вдосконалення. Були визначені умови для більш ефективної роботи АЗЗП з циліндричною сепараційною камерою – усунення гальмуючого параметру, що призводив до падіння осьової швидкості запиленого потоку повітря.

Визначено параметр, який гальмував рух первинного потоку до сепараційного простору апарату і тим самим призводив до зниження ефективності очищення. За рахунок конструктивних змін типової моделі підвищено вхідний момент кількості руху у первинному потоці.

Отримано залежності полів швидкостей та гідравлічних втрат. Експериментальним шляхом підтверджено підвищення ефективності апаратів із зустрічними закрученими потоками. Визначено діапазон вловлювання твердих частинок із запиленого повітря в удосконалених АЗЗП.

Розроблено удосконалені моделі АЗЗП з циліндричною сепараційною камерою, які пройшли промислову апробацію на харчових підприємствах. Проведено техніко-економічне обґрунтування застосування удосконалених апаратів із зустрічними закрученими потоками, що показало значний економічний ефект при впровадженні їх у харчові виробництва.

Ключові слова: апарати із зустрічними закрученими потоками, вхідний момент кількості руху, ефективність пиловловлювання, поле швидкостей, гідравлічні втрати, пилоподібний продукт.

АННОТАЦИЯ

Савченко-Перерва М.Ю. Усовершенствование вихревых аппаратов для интенсификации процесса улавливания пылевидных продуктов в пищевой промышленности. – На правах рукописи.

Диссертация на соискание ученой степени кандидата технических наук по специальности 05.18.12 – процессы и оборудование пищевых, микробиологических и фармацевтических производств. – Харьковский

государственный университет питания и торговли Министерства образования и науки Украины, Харьков, 2015.

Диссертация посвящена решению научно-прикладной задачи повышения эффективности аппаратов со встречными закрученными потоками (АВЗП) за счет их конструктивного усовершенствования. Были определены условия для более эффективной работы АВЗП с цилиндрической сепарационной камерой – устранение тормозящего параметра, который приводил к падению осевой скорости запыленного потока воздуха.

Определен параметр, который тормозил движение первичного потока сепарационного пространства аппарата и тем самым приводил к снижению эффективности очистки. За счет конструктивных изменений типовой модели повышен входящий момент количества движения в первичном потоке.

Получены зависимости полей скоростей и гидравлических потерь. Экспериментальным путем подтверждено повышение эффективности аппаратов со встречными закрученными потоками. Определен диапазон улавливания твердых частиц из запыленного воздуха в усовершенствованных АВЗП.

Разработаны усовершенствованные модели с цилиндрической сепарационной камерой, которые прошли промышленную апробацию на пищевых предприятиях. Проведено технико-экономическое обоснование применения усовершенствованных аппаратов со встречными закрученными потоками, которое показало значительный экономический эффект при внедрении их в пищевые производства.

Ключевые слова: аппараты со встречными закрученными потоками, входящий момент количества движения, эффективность пылеулавливания, поле скоростей, гидравлические потери, пылевой продукт.

ANNOTATION

Savchenko-Pererva M.Y. Improvement of vortex devices for the intensification of the process of trapping dust products in the food industry. – Manuscript.

Thesis for Candidate's degree of technical sciences by specialty 05.18.12 – Processes and Equipment of Food, Microbiological and Pharmaceutical Industries. – Kharkiv State University of Food Technology and Trade of the Ministry of Education and Science of Ukraine, Kharkiv, 2015.

As a result of the analysis of the literature and patent records were to establish the advantages of vortex devices before the cyclone, namely: independence of purification from dust, for parallel connection it is not necessary to monitor the uniformity of the the chamber, at equal separating ability of the cyclone has a lower productivity at higher (about one third) power energy, cleaning high temperature gases that can be cooled by means of additional flow, drop efficiency, when the suction in the hopper portion of the apparatus, occurs with less intensity and so on. Also able to establish the influence of factors on the process of dust collection and improve the efficiency of vortex devices – apparatus with counter swirling flows

(ACSF) by design improvements. Set the conditions for more effective work with ACSF cylindrical separating camera – eliminating the braking parameter, which led to low axial velocity of the dust-Laden air stream.

It is theoretically established and experimentally confirmed that the critical factor that affects the overall efficiency of the process dust collection in ACSF with swirling flows is the presence of an inhibitory effect that leads to the reduction of axial velocity of the dust-Laden air stream.

Developed equations for utility models ACSF in which the input momentum is perpendicular to external and internal radii of the swirler. On this basis, it was determined the main place for meaningful improvement – is the increase of swirl of the primary flow in the lower cylindrical part of the apparatus to $d_2 = 0,95 \div 1,0D_0$ – a first improved design, $d_2 = 1,1 \div 1,2D_0$ – the second and third improved designs, resulting in increased incoming momentum in the primary swirl twice – with $M_{ax2} : M_{ax1} = 4:1$ to $M_{ax2} : M_{ax1} = 2:1$. It thus eliminated the braking effect due to the equalization of the ratio of the input angular momentum $M_{ax2} : M_{ax1} = 2:1$ and flows of the air, according to the law of conservation of momentum.

Developed physical model of dust-Laden flow with dried milk in improved model of the apparatus with counter swirling flows. Which can theoretically analyze the motion of solid particles in the separation part of the ACSF and describe a mathematical model of the flow structure of dusty air. In the equations of motion of dust-Laden flow, it is possible to apply the minimum reduction, which will allow them to implement numerical methods for the exact values of the input parameters and the initial (boundary) conditions, i.e., conditions for the uniqueness.

Experimentally determined velocity field in advanced ACSF and confirmed the intensification of the process of separation of solid particles from sawn air due to increased speeds in all holes of the chamber on 30...50% in comparison with the typical model ACSF.

Experimental data for the total collection efficiency was as follows: in advanced ACSF (with two cones) – $\eta = 99,6\%$; in advanced ACSF (with discs) – $\eta = 97,2\%$; in advanced ACSF (with one cone) – $\eta = 98,6\%$, the same flow resistance and the flow rate of the air from analog design ACSF – $\eta = 94,4\%$; the efficiency of collection of particulates from dust-Laden air in advanced ACSF (with the two cones), with most effective capture (approximately 80%) medium and small fractions in the range from 10 μm to 30 μm .

Improved method of calculating hydraulic losses ACSF by the primary and secondary channels, and experimentally confirmed that the pressure loss in advanced ACSF = 634 PA, do not exceed losses for a typical design ACSF.

Improved collection efficiency in advanced ACSF (with two cones) on 5,4% (in accordance with act implementation). Caught the smallest fraction of dry milk particles with a diameter of 1.99 μm . Developed improved design of apparatus with counter swirling flow – ACSF with two cones, ACSF with discs and ACSF with one cone in the upper part of the primary swirl flow of the lower part of the device (patent of Ukraine for useful model №52244 and №90412). Committed implementation of

the utility model ACSF with two cones instead of cyclones TSN-15Y at CJSC the Butter factory «Priluki» and the LLC «Rubezhnoye-agro». Scientific developments are used in the educational process and by relevant acts of implementation. Calculated the economic effect amounts to 55825 UAH / year – to ACSF with two cones and 43945 UAH / year for ACSF with one cone.

Key words: apparatus with counter swirling flows, the incoming momentum, the dust collection efficiency, velocity field, pressure loss, dust product.

Підписано до друку 11.11.2015 р. Формат 60×90/16. Папір офсет. Друк офсет.
Умов. друк. арк. 1,4. Тираж 150 прим. Замовл. № 101

Видавець і виготівник

Харківський державний університет харчування та торгівлі.

Вул. Клочківська, 333, Харків, 61051.

Свідоцтво суб'єкта видавничої справи ДК № 4417 від 10.10.2012 р.