

ОДЕСЬКА НАЦІОНАЛЬНА АКАДЕМІЯ ХАРЧОВИХ ТЕХНОЛОГІЙ

Євса Людмила Михайлівна

УДК 621.928.9:664.97.047:637.143

**УДОСКОНАЛЕННЯ РОБОТИ ВИХРОВИХ АПАРАТІВ
ПРИ ЗНЕПИЛЕННІ ГАЗІВ МОЛОЧНОКОНСЕРВНИХ ВИРОБНИЦТВ**

Спеціальність 05. 18. 12 – процеси та обладнання харчових,
мікробіологічних та фармацевтичних виробництв

АВТОРЕФЕРАТ
дисертації на здобуття наукового ступеня
кандидата технічних наук

Одеса - 2006

Дисертацією є рукопис.

Робота виконана в Запорізькій державній інженерній академії Міністерства освіти і науки України

Науковий керівник: доктор технічних наук, професор

Офіційні опоненти: доктор технічних наук, професор
Гладушняк Олександр Карпович, Одеська національна академія харчових технологій, кафедра технологічного обладнання харчових виробництв, завідувач кафедри

кандидат технічних наук
Буров Олексій Олександрович, Одеський національний політехнічний університет, науково-виробнича лабораторія “Чисте повітря”, завідувач лабораторії

Провідна установа: Інститут технічної теплофізики Національної академії наук України (м. Київ)

Захист відбудеться *06 липня 2006 р.* о 13-00 годині на засіданні спеціалізованої вченої ради Д 41.088.01 при Одеській національній академії харчових технологій за адресою: 65039, м. Одеса-39, вул. Канатна, 112.

З дисертацією можна ознайомитись у бібліотеці Одеської національної академії харчових технологій за адресою: 65039, м. Одеса-39, вул. Канатна, 112.

Автореферат розіслано *03 червня 2006 року*

Вчений секретар
спеціалізованої вченої ради,
д.т.н., професор

К.Г. Іоргачова

ЗАГАЛЬНА ХАРАКТЕРИСТИКА РОБОТИ

Актуальність теми. Виробництво сухих молочних продуктів, як і вся харчова промисловість, постійно розвивається та вдосконалюється. Технологічний процес сушіння молока пов'язаний з утворенням пилу в газах, що відходять, та прямими втратами готової продукції. Аналіз стану існуючих установок знепилення показує, що вони є морально та фізично застарілими, не забезпечують достатню ефективність відокремлення, підлягають постійному чищенню, мають високий гідравлічний опір. Недостатня ефективність діючих установок знепилення газів спричиняє втрату значної кількості готової продукції, забруднення навколишнього середовища та робочих приміщень викидами пилу органічного походження.

Під час виробництва сухого молока втрати готового продукту коливаються в межах 1,5- 4,5 кг/годину або від 1,5 до 10 і більше т/рік та потребують розробки заходів і обладнання по їх зменшенню.

Перспективним напрямком розв'язання цієї проблеми є відцентрові апарати із закрученими потоками. При цьому вихрові апарати мають кращі техніко-економічні показники та є найбільш ефективними серед існуючого обладнання відцентрового типу, уловлений готовий продукт повертається безпосередньо у виробництво. Але спроба застосувати вихрові апарати для знепилення газів в умовах харчових виробництв стикається з проблемою вибору конструктивно-режимних параметрів та методів розрахунку таких пиловловлювачів. Бракує наукового обґрунтування конструкції, вихідних даних щодо властивостей сухого молока для розрахунків знепилюючого обладнання.

Актуальність теми полягає в удосконаленні роботи вихрових апаратів за рахунок теоретичного і експериментального обґрунтування режимів роботи під час знепилення газів молочноконсервних виробництв та необхідності заміни застарілого обладнання знепилення газів на молочноконсервних виробництвах вихровими пиловловлювачами.

Зв'язок роботи з науковими програмами, планами, темами. Робота виконувалась згідно з планом аспірантури та договірною роботою НДЧ Запорізької державної інженерної академії з ВАТ “Молочанський молочноконсервний комбінат” № 9-1/2001 “Дослідження та визначення параметрів відходящих газів від сушильної установки ЦАН-300, дослідження способів очищення газів при виробництві сухого молока” (держреєстрація № 0102U002866). Особиста участь автора полягала в організації та відборі проб викидів, обробці та узагальненні дослідних даних.

Мета і задачі дослідження. Метою роботи є створення перспективних методів розрахунку та обґрунтування конструктивно-режимних параметрів вихрових пиловловлювачів, підвищення ефективності знепилення газів і додаткове повернення готового продукту на молочноконсервних виробництвах.

Поставлена мета визначила конкретні завдання досліджень:

- провести порівняльний аналіз обладнання і визначити доцільність використання закручених потоків при знепиленні газів від сухого молока;

- дослідити аеродинамічні характеристики закручених потоків в циліндричній

2

області вихрового пиловловлювача із спутним рухом газу ;

- дослідити фізико-механічні властивості сухого молока; визначити його гранулометричний склад; встановити причини та наслідки змінювання початкової структури висушеного продукту;

- встановити вплив конструктивних і режимних параметрів процесу знепилення на ефективність роботи і аеродинаміку в апараті;

- узагальнити експериментальні дані, визначити параметри роботи пиловловлювача, які забезпечують високу ефективність знепилення;

- розробити конструкцію вихрового апарата, яка відповідає визначеним вимогам і умовам процесу знепилення газів від сухого молока;

- розробити методи розрахунку вихрових пиловловлювачів, типорозмірний ряд апаратів, рекомендації щодо їх проектування, виготовлення та експлуатації в умовах виробництва.

Об'єкт дослідження. Процеси знепилення технологічних газів при виробництві сухих молочних продуктів (молочних консервів).

Предмет дослідження. Вихрові пиловловлювачі.

Методи дослідження. Аналітичне моделювання аеродинамічних характеристик закручених потоків проводилося з використанням рівняння руху Нав'є-Стокса і рівняння нерозривності. Математичне та фізичне моделювання доповнювалось експериментами в промислових умовах. Дослідження параметрів газового потоку в лабораторних умовах проводили з використанням стандартизованих, метрологічно атестованих методик. Похибки вимірювань не перевищують показники, встановлені відповідними стандартами.

Наукова новизна одержаних результатів полягає в науковому обґрунтуванні та експериментальному підтвердженні способу знепилення газів від сухого молока в вихрових апаратах при забезпеченні конструктивно-режимних параметрів роботи пиловловлювача, а також розрахунків вихрових апаратів знепилення для використання в харчовій промисловості.

Нові наукові результати дисертаційного дослідження:

- обґрунтовано і експериментально підтверджено доцільність використання закручених потоків, які рухаються в одному напрямку, для знепилення газів від сухого молока;

- розроблено математичну модель руху газової фази у закрученому потоці для циліндричної області вихрового апарату, що враховує кут нахилу лопаток завихрювача, гідравлічний опір і конструктивні параметри апарату;

- визначені аналітичні залежності, що визначають поля швидкостей газової фази в апараті із завихрювачем; одержано радіальний розподіл складових швидкостей закрученого газового потоку з відображенням епюри в діапазоні значень $3 \cdot 10^6 < Re < 7 \cdot 10^6$;

- отримані нові дані по фізико-механічним властивостям, досліджені закономірності змінювання гранулометричного складу сухого молока для розрахунку ефективності знепилення; встановлені причини та наслідки

- визначено вплив конструктивних та режимних параметрів роботи вихрового пиловловлювача, що забезпечують більш високі техніко-економічні показники процесу знепилення газів та збільшення виходу продукту.

Практична цінність роботи полягає в розробці конструкції високоєфективного вихрового пиловловлювача, у якому забезпечується високий ступінь знепилення (до 93 %). Новизна розроблених апаратів захищена патентом на винахід № 47803А, деклараційним патентом на корисну модель № 5852. Розроблені пиловловлювачі можуть бути використані для знепилення газів на підприємствах харчової, хімічної галузей.

Матеріали досліджень покладено в основу документів КНД 211.2.2.003-06 “Правила технічної експлуатації установок очистки газу” і РД 211.2.7.004-06 “Методичні рекомендації з контролю роботи установок очистки газу, складанню і реєстрації їх паспортів” (держреєстрація № 0104U004975). Результати досліджень використовуються в учбовому процесі кафедри промислової екології ЗДІА.

Використання результатів роботи здійснено під час випробувань вихрового пиловловлювача для знепилення газів від сушарки ЦАН-300 на ВАТ “Молочанський молочноконсервний комбінат”. Підвищенням ефективності знепилення на 10-12 % додатково уловлено більш 3 тонн/рік сухого молока. Зменшено платежі за викиди в атмосферне повітря на суму 2 тис. грн/рік, а загальна економія від впровадження результатів дисертації склала більш 50 тис. грн.

Особистий внесок здобувача. Аналіз існуючих систем знепилення, організація та відбір проб викидів, створення і впровадження нової конструкції вихрового пиловловлювача і розрахунки типорозмірного ряду апаратів, розроблення та реалізація методики експериментальних досліджень, одержання, обробка та узагальнення розрахункових і дослідних даних виконано автором особисто.

Апробація результатів роботи. Основні результати роботи доповідалися і одержали схвалення на Міжнародній науковій конференції молодих вчених, аспірантів та студентів “Сучасні методи створення нових технологій та обладнання в харчовій промисловості”(м. Київ, НУХТ, 2002р.); на V Міжнародній науково-практичній конференції студентів, аспірантів та молодих вчених “Екологія. Людина. Суспільство” (м. Київ, 2002 р.); на науково-практичній конференції “Проблеми екології та експлуатації об'єктів енергетики” (м. Севастополь, 2003 р.); на XXIV International Symposium AQUA-2003 - Warsaw Technical University in Plock (Poland), 2003; міжнародній науковій конференції молодих вчених, аспірантів та студентів “Наукові дослідження молоді – на вирішення проблем харчування людства в XXI ст.” (м. Київ, НУХТ, 2004), на Міжнародній науково - практичній конференції “Харчові технології – 2005” (м. Одеса, ОНАХТ, 2005).

Публікації. Результати дисертації викладені в 14 публікаціях, у тому числі 6 (шість) статей у збірниках, що затверджені ВАК України, а також у 6 (шести) матеріалах конференцій, в тому числі 1 у матеріалах міжнародної конференції; отримано 2 (два) патенти України.

Структура та обсяг роботи. Дисертація складається зі вступу, п'яти розділів,

загальних висновків та додатків. Загальний обсяг роботи складає 183 сторінки, із

4

них 119 сторінок основного тексту. Дисертація містить 46 рисунків (13 сторінок), 17 таблиць (2 сторінки), 12 додатків (35 сторінок). Список використаних літературних джерел складає 160 найменувань (14 сторінок).

ОСНОВНИЙ ЗМІСТ РОБОТИ

У **вступі** дана загальна характеристика роботи, сформульована мета та поставлені задачі дослідження.

Перший розділ присвячений вивченню стану проблеми знепилення технологічних газів. Проаналізовані умови експлуатації та ефективність роботи установок знепилення на діючих підприємствах по виробництву сухого молока.

На підприємствах по виробництву сухого молока уловлення готового продукту здійснюються в циклонах різних типів. Інші вискоефективні газоочисні апарати, такі як електричні і рукавні фільтри взагалі не застосовують для знепилення технологічних газів. Це пов'язано з тим, що частинки молочного порошку мають властивість налипання на поверхню осадження (електроди і тканинні рукава) через органічне походження й наявність жиркових, білкових складових компонентів. Наслідком цієї властивості є неможливість видалення вловлених частинок з осаджувальних поверхонь, існують складності в обслуговуванні та чищенні апаратів, погіршується якість продукту, що піддається тривалому впливу високих температур, існує небезпека вибуху відкладень молочного порошку в корпусі апаратів.

Встановлено, що апарати знепилення не забезпечують повного відокремлення дрібнодисперсних фракцій пилу, не відповідають сучасним вимогам ресурсозбереження, споживають значну кількість електроенергії, мають великі габарити. При цьому ефективність знепилення не перевищує 75-80 %, а концентрація сухого молока на виході в атмосферу досягає 400 мг/м³ (таблиця 1).

Втрати на практиці складають від 1,5 до 10 і більше т/рік якісного продукту для кожного підприємства. Розглянуті основні фізико-механічні властивості сухого молока, які впливають на ефективність знепилення та визначають якість продукту.

Одним з перспективних напрямків удосконалення апаратів знепилення є використання закручених потоків в апаратах відцентрового типу, а саме вихрових пиловловлювачів, які мають кращі техніко-економічними показники. Важливою перевагою вихрових пиловловлювачів є наявність основного і додаткового потоків газу та універсальність їх аеродинамічних і пиловловлюючих характеристик. При зміні співвідношення витрат первинного і додаткового потоків газу можна створювати найбільш інтенсивне закручення потоку і регулювати протікання процесу відокремлення частинок. Проведено аналітичний аналіз конструктивного виконання вихрових апаратів, на підставі яких визначені шляхи створення нових типів апаратів для знепилення газів та можлива інтенсифікація процесу відокремлення. Схема вихрового пиловловлювача з лопатевим завихрювачем представлена на рис. 1.

У газохід 1 надходить запилений газ і закручується лопатевим завихрювачем 2. Обтічник 3 тріхи відтісняє потік до стінки апарата і сприяє плавному обтіканню газовим потоком втулки лопатевого завихрювача.

5

Таблиця 1.3

Показники роботи технологічного і знепилюючого устаткування

Підприємство	Тип сушильно-ї установ-ки	Вироб-лений продукт	Знепилююче обладнання	Концентрація пилу, мг/м ³		Швид-кість газу, м/с	Гідрав-лічний опір, Па	Ступінь знепилення, %	Викид в атмосфе-ру, <u>кг/годину</u> т/рік
				вхід	вихід				
Молочан-ський молочно-консерв-	ЦТ-500	СНМ, СЗМ	Група циклонів СКЦН-34	600	150	3,9	2400	75	$\frac{1,5}{12,2}$
	ЦАН-300	СНМ	Інерційний апарат "Тайфун"	720	250	8	1700	62,3	$\frac{3,4}{20,25}$
Веселівський завод СОМ	РСМ-500	СЗМ	Група циклонів ЦН-15, 4 шт.	565	120	4,8	1800	79	$\frac{1,8}{9,6}$
Яготинський мас-лозавод	ЦТ-500	СЗМ	Циклон СДК-40	460	80	4,92	1850	84	$\frac{0,7}{7,2}$

Під дією відцентрової сили частинки пилу в закрученому газовому потоці переміщуються до стінок корпусу 4. Одночасно той же запилений або очищений після апарату газ подається в роздавальну камеру 5 і за допомогою завихрювача 6 надходить у робочу порожнину апарата.

Додатковий газовий потік, що виходить із завихрювача 6 підкручує основний потік у ту ж сторону, що й завихрювач 2 і одночасно здуває частинки пилу зі стінок у бункер 7.Dodatkovий потік газу у ході спірального обтікання основного потоку, поступово повністю проникає в нього. Кільцевий простір навколо вхідного патрубку може бути оснащений пиловідбійною шайбою 9, яка призначена забезпечити безповоротний спуск пилу до вивантажувального пристрою (транспортру). З бункера пил надходить у ємність готової продукції, а очищений газ через вихлопний патрубок 10 в атмосферу.

Змінюючи кут нахилу лопаток завихрювача основного і додаткового потоків і місце

6

розташування по висоті сепараційної зони, можна забезпечити ефективну роботу

пиловловлювача.

Додатковий потік виконує особливу роль у процесі сепарації:

- збільшує дію відцентрової сили;
- захищає стінки камери від налипання;
- забезпечує сепарацію частинок по всьому об'єму апарата;
- поліпшує транспортування пилу в напрямку бункера.

Крім того, у вихрових пиловловлювачах немає різкої зміни напрямку руху основного потоку газу (як у циклонах). Завдяки цьому зменшено вторинне віднесення, відсутнє абразивне зношення у нижній частині корпусу, істотно підвищується інтенсивність проведення масообмінних процесів, що пояснює невелику металоємність і габарити при високій ефективності відокремлення пилоподібних продуктів та експлуатаційній надійності обладнання.

У зв'язку з цим сформульовано завдання досліджень по експериментальному визначенню параметрів роботи апарата, розробці конструкції, обґрунтуванню конструктивно-режимних параметрів вихрових пиловловлювачів розробці перспективних методів розрахунку та рекомендацій із проектування. Для підвищення ефективності знепилення газів і додаткового повернення якісного готового продукту.

У **другому розділі** наведено методика, об'єкти та методи досліджень. В повному обсязі викладено опис експериментальної установки та пристроїв для виконання експериментальних досліджень. Визначення фізико-механічних властивостей сухого молока, його дисперсний склад виконано з використанням загальноприйнятих методів. Вимірювання профілю полів швидкостей проведено циліндричним триканальним зондом. Як результат використання пристрою, отримана можливість точного виміру осьової, тангенціальної та радіальної складової швидкості при різних умовах руху газу в апараті.

Густину зразків висушеного молока визначали пікнометричним методом. Дисперсний склад пилу визначався ситовим методом з послідуочим аналізом підситової фракції рідинною седиментацією. Структуру та форму частинок продукту досліджували за допомогою оптичного мікроскопу "МІМ-8". Концентрація пилу визначали методом зовнішньої фільтрації на фільтри АФА-ВП-20.

При обробці експериментальних даних перевірка нормальності розподілу випадкової величини виконували обчислювальним методом χ^2 - критерієм Пірсона.

Третій розділ присвячений розробці математичної моделі закрученого газового потоку. Вихрова течія газу є результатом надання потоку спірального руху за допомогою пристроїв закручення або прямим закрученням шляхом тангенціальної подачі газу в апарат. Закручений газовий потік є складним тривимірним рухом. Вектор швидкості потоку розкладається в циліндричній системі координат на три складові: осьову, тангенціальну (обертальну) і радіальну.

Наявність обертальної складової швидкості саме приводить до виникнення в потоці відцентрових сил і утворенню радіального градієнта статичного тиску ($\partial P / \partial r = \rho \cdot u^2 / r$). Важливою особливістю закручених потоків є можливість формування в потоці областей з активним і консервативним характером впливу відцентро-

вих сил на його структуру, як це прийнято в Ахмедова Р.Б. Рівняння руху газу у градієнтному полі швидкості подано за умови нерозривності потоку. Основою для створення математичної моделі вихрового руху у циліндричній системі координат є система рівнянь Нав'є-Стокса.

При цьому вводяться наступні припущення:

- радіальна складова швидкості по абсолютній величині на порядок менше осьової, а осьова на порядок менше тангенціальної, тобто $U_r \ll W_o \ll V_\varphi$
 - похідні від осьової і тангенціальної складових швидкості по радіусу значно більше похідних по висоті піловловлювача, тобто зміна осьової і тангенціальної складових швидкості по радіусу відбувається інтенсивніше, ніж по висоті;
 - перепад тиску по висоті піловловлювача малий і їм можна знехтувати.
- Загальне рівняння по визначенню тангенціальної складової має вигляд:

$$\bar{V} = \xi \sqrt{\frac{2\Delta P}{\rho} \cos \beta} \left[J_1(0,24 \cdot \bar{r}) \cdot 0,99 + N_1(0,24 \cdot \bar{r}) \cdot 0,234 \right] \cdot e^{\frac{v \cdot 0,234}{W_1 R^2} x} \quad (1)$$

де ξ - коефіцієнт опору завихрювача; ΔP_1 - перепад тиску на завихрювачі; ρ - густина газу; β - кут нахилу лопаток завихрювача; $W_1 = 4Q/\pi \cdot R_3^2$.

Змінюючи кут установлення лопаток завихрювача, закручуючи їх по радіусу, можна одержати наперед заданий закон закручення потоку в полі відцентрових сил.

Осьова складова швидкості газу знаходиться з рівняння суцільності потоку. Рішення цього рівняння методом поділу змінних дозволяє одержати:

$$W = W_0 \left[J_0(0,361 \cdot \bar{r}) C_1 + N_0(0,361 \cdot \bar{r}) C_2 \right] \cdot e^{-\frac{0,361 v}{R^2 W_0} x} \quad (2)$$

де $W_0 = \xi \cdot (2\Delta P/\rho)^{0,5} \cdot \sin \beta$ – швидкість газу в апараті; R - радіус циліндричної частини піловловлювача; незмінні інтегрування: $C_1 \approx 0,99$; $C_2 = 0,234$; $\lambda = 0,24$.

Радіальна складова швидкості визначається із рівняння витрат газу крізь циліндричну поверхню:

$$U = \frac{1}{r} \int W_0 \cdot \left[J_0(0,361 \cdot \bar{r}) C_1 + N_0(0,361 \cdot \bar{r}) C_2 \right] \cdot r^2 \frac{0,361 \cdot v}{R^2 \cdot W_0} \cdot e^{-\frac{0,361 v}{R^2 W_0} x} \cdot \partial r \quad (3)$$

Загальний вираз для розрахунку зміни тиску по радіусу апарату має вигляд:

$$P = 2\xi^2 \cdot \Delta P_3 \cos \beta \int_0^r \left[J_1(0,24 \cdot \bar{r}) \cdot 1 + N_1(0,24 \cdot \bar{r}) \cdot 0,234 \right]^2 \cdot e^{-\frac{0,468 v}{W_0 R^2} x} \cdot \partial r \quad (4)$$

де ΔP_3 – перепад тиску на завихрювачі основного потоку газу; J_p і N_p - функції Бесселя першого і другого роду порядку P .

Оскільки при рішенні задачі були визначені поля швидкостей, отримані шляхом введення визначених допущень, то для розрахунку дійсної осьової складо-

вої швидкості, врахуємо осьову швидкість W_0 , і остаточно одержимо загальний вираз для розрахунку осьової складової:

8

$$W = W_0 \left\{ 1 + [J_0(0,361 \cdot \bar{r})C_1 + N_0(0,361 \cdot \bar{r})C_2] \cdot e^{-\frac{0,361v}{R^2 W_0}} \right\} \quad (5)$$

де W_0 - середня осьова швидкість газового потоку в апараті, м/с.

Аеродинаміка у закрученому потоці визначається складним характером взаємодії між твердими частинками і газовим середовищем. У сепараційній зоні відбувається взаємодія двох закручених в один бік потоків, що рухаються також в одному напрямку. Серед усього різноманіття сил, що діють на аерозоль у вихровому газовому потоці, варто виділити як основні: інерційні, відцентрові сили і сили аеродинамічного опору, обумовлені тертям між частинками матеріалу (продукту) і газом. Схема сил і потоків, що діють на частинку в криволінійному каналі наведено на рис. 2.

Численні спроби вирішити задачу про рух аерозолу з урахуванням перерахованих вище сил, навіть для частинок постійної маси, не дали бажаних результатів, оскільки приводять до складних систем диференціальних рівнянь. Це пояснює складність розглянутих процесів і доводить необхідність виконання експериментальних досліджень аеродинаміки апарату.

У відповідності до методики випробувань пиловловлювачів, вплив на процес відокремлення мають середня швидкість газового потоку, співвідношення потоків $K = \frac{V_1}{(V_1 + V_2)}$, кут нахилу лопаток завихрювача, діаметр апарату. Коефіцієнт K визначає співвідношення витрат основного і додаткового потоку газу та існування різних режимів роботи вихрового апарату. По результатам аналізу рівнянь визначено об'єм та напрямки лабораторних досліджень.

Визначення ефективності знепилення у закрученому потоці має вигляд:

$$\eta = 1 - \exp \left[\frac{2d_c^2 (\rho_c - \rho_g) H \cdot W \cdot \text{ctg} \beta}{18\mu \cdot R} \right] \quad (6)$$

де d_c - середній розмір частинок пилоподібного продукту (матеріалу), м; ρ_c, ρ_g - густина продукту й газу, кг/м³; ΔP - гідравлічний опір пиловловлювача; H - висота сепараційної зони апарату; μ - динамічна в'язкість газу, Па·с; β - кут нахилу лопаток завихрювача основного потоку газу; R - радіус апарату, м.

9

$$\Delta P = \xi \frac{\rho_g \cdot W_g^2}{2}$$

Після підстановки рівняння у вищенаведене одержимо формулу для визначення ефективності відокремлення частинок від питомих енерговитрат:

$$\eta = 1 - \exp \left[\frac{2d_v^2 (\rho_v - \rho_s) H \cdot \Delta P^{1/2} \cdot \operatorname{ctg} \beta}{18\mu \cdot R_s^2 \cdot \sqrt{\rho_s \xi}} \right] \quad (7)$$

де ΔP - гідравлічний опір пиловловлювача, Па; ξ - коефіцієнт опору.

У четвертому розділі представлені результати експериментальних досліджень аеродинаміки (складових полів швидкостей потоків), гідравлічного опору апарата, ефективності знепилення і дисперсний склад сухого молока.

Схема вихрового пиловловлювача ВПВ-АЛ30-ВП представлена на рис. 3. Пиловловлювач містить газопровід забрудненого газу, розсікач 2, завихрювач основного потоку газу 3 з обтічником 4, корпус 5. Подача додаткового потоку газу виконується за допомогою приладу 6, а вихід чистого газу через патрубок 7. В конусній частині апарату 8 проводиться збір і розвантаження пилу через живильник 9. Конструктивна особливість досліджуваного вихрового апарата полягає в тому, що двофазний потік, закручений за допомогою двох завихрювачів, зберігає обертання в сепараційній зоні апарата. У центральній частині апарата, у режимі закручених в одному напрямку потоків і забезпечується ефективно відокремлення пилу при мінімальному гідравлічному опорі використаних способів закручення потоку.

Дослідження вихрового пиловловлювача проводили в діапазоні значень $3 \cdot 10^6 < \operatorname{Re} < 7 \cdot 10^6$, що відповідає середній швидкості в апараті $8 \div 15$ м/с. Діапазон варіювання факторів – концентрація продукту в газах, кут нахилу лопаток завихрювача основного потоку обирали за результатами попередніх дослідів та аналізу літературних джерел. Під час експериментів досліджували вплив співвідношення потоків в радіальному напрямку в двох перерізах апарату: безпосередньо після завихрювача і в центральній частині апарату. Встановлено існування критичних режимів, при яких ефективність процесу відокремлення низька і вважається неприпустимою. Наведені на рис. 4 залежності складових полів швидкостей визначають найбільш сприятливі умови

10

процесу знепилення, а саме співвідношення потоків $K=0,8$ біля завихрювача (а) та в середині сепараційної зони апарату (б).

$$K = \frac{V_1}{(V_1 + V_2)} = 0,8 \div 0,75$$

Так при коефіцієнті співвідношення потоків спостерігаються найвигідніші умови процесу знепилення; даний режим роботи пиловловлювача характеризується периферійним підкрученням. За умови підтримки обертання основного потоку газу максимум тангенціальної швидкості проходить у межах $r = (0,7 - 0,8) R$. Даний режим роботи сприятливо позначається на ефективності знепилення, тому що тангенціальна швидкість має позитивне значення - потік зберігає інтенсивне закручення, але рухається в напрямку до бункера. При цьому на вісі сепараційної зони спостерігається складна картина взаємодії двох потоків: основного потоку, закрученого осьовим завихрювачем і додаткового потоку, який рухається в одному напрямку з основним. В нижній частині апарату обертання додаткового потоку загасає і потік рухається разом з відокремленим продуктом в напрямку бункера.

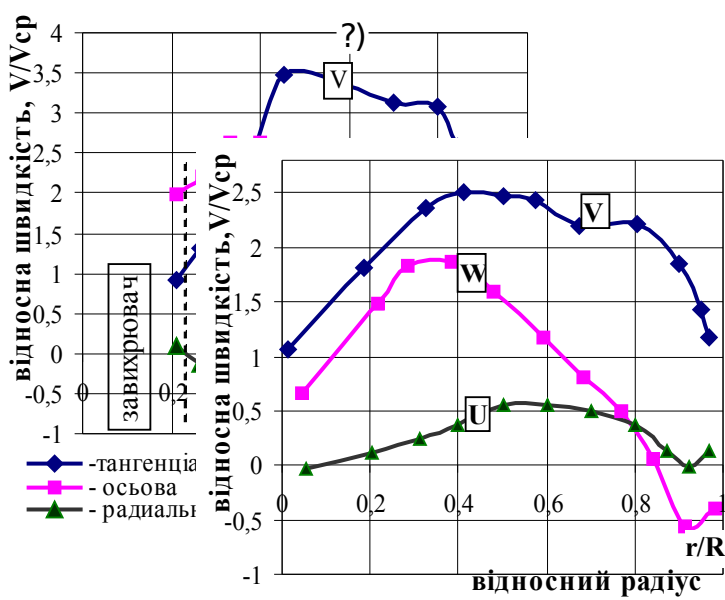


Рис. 4. Розподіл складових швидкостей у вихровому апараті після завихрювача (а) та в сепараційній зоні (б) при співвідношенні $K = 0,8$; r -поточне значення радіуса, R - радіус апарата.

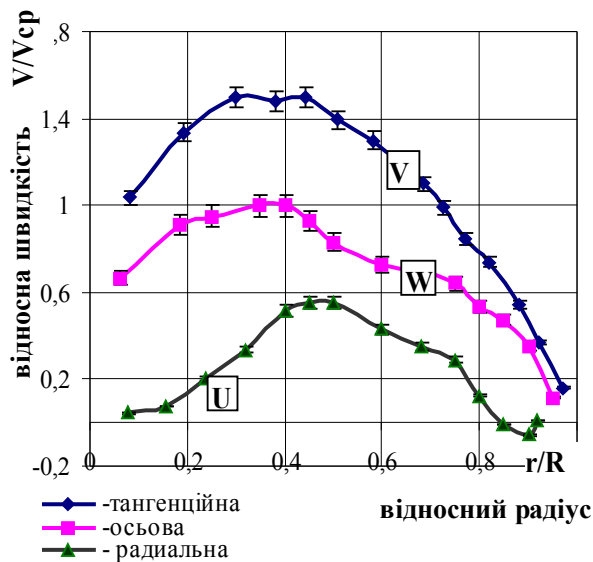
Під час досліджень визначено, що при співвідношенні потоків менше, або близько $K = 0,5$ в сепараційній зоні апарата утворюється кільцева зона з високою концентрацією твердої фази. Її верхня межа розташована біля вхідного патрубку додаткового потоку газу. На рис. 5 (а) наведено режим роботи апарату з утворенням кільцевого шару пилу в сепараційній зоні.

Такі умови роботи апарату не сприйнятливі з точки зору процесу знепилення, але можуть бути використані при необхідності додаткового сушіння готової продукції при двостадійному виробництві швидкорозчинних молочних продуктів.

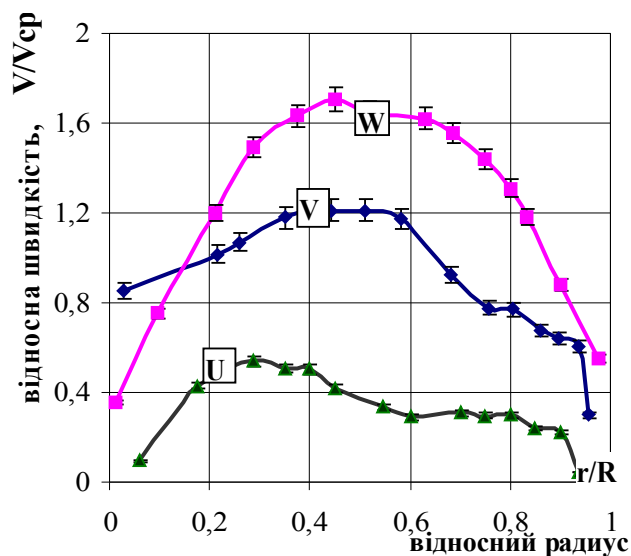
Як доводить рис. 5 (б), зменшення кількості вторинного потоку, що визначається при співвідношенні потоків $K=0,9$, призводить до росту осьової складової швидкості потоку. Одночасно знижується ступінь закручування в сепараційній зоні і

тангенціальна швидкість газу, що не є раціональним для процесу відокремлення.

Збільшується осьова течія та радіальний градієнт тиску – апарат працює на вихід. При цьому збільшується кількість пилу, що виноситься.



а) $K=0,5$



б) $K=0,9$

Рис. 5. Змінювання по радіусу складових швидкості газового потоку в апараті при різному співвідношенні потоків K

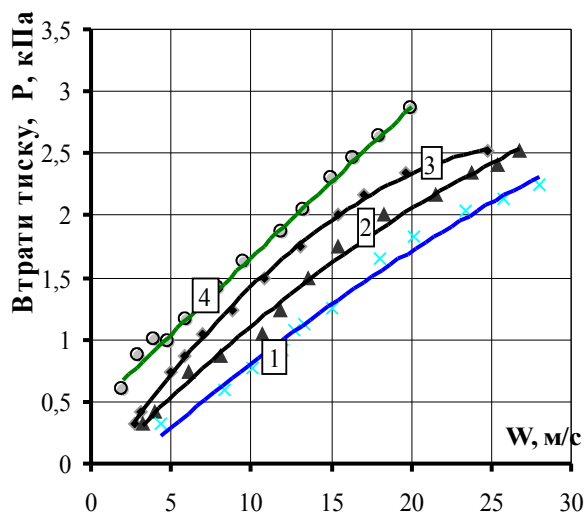


Рис. 6. Залежність втрати тиску від швидкості газу при співвідношенні потоків основного V_1 і загального $V_{заг}$ витрат газу при змінюванні K ,
1- $K=0,5$; 2 – $K=0,67$; 3 - $K=0,8$;
4 - $K=0,9$

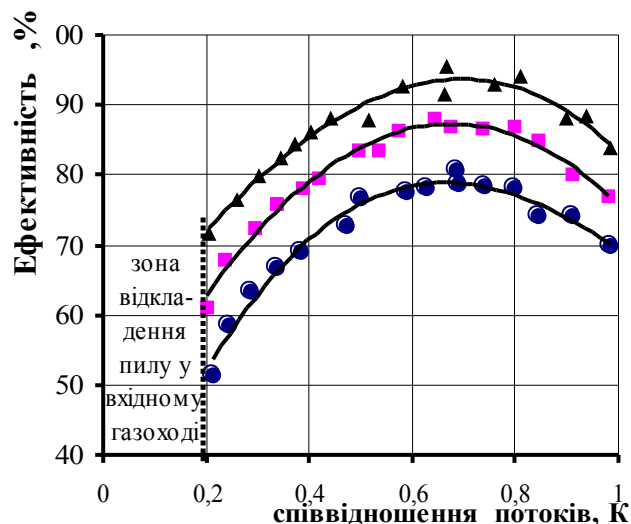


Рис. 7. Залежність ефективності знепилення у вихровому пиловловлювачі від змінювання K , при швидкості газу: - 8 м/с; - 10 м/с; - 12 м/с.

Проведенні дослідження ефективності знепилення довели недолік вказаного режиму при співвідношенні потоків $K \geq 0,9$. Цей режим апарату є однопоточний і ефективність знепилення не перевищує показники циклонних апаратів. На рис. 6 та

12

7 наведено залежність втрати тиску та ефективність знепилення при висоті сепаративної зони $H=2D$, вхідній концентрації пилоподібного продукту $z=5$ г/м³, медіанному діаметрі частинок $\delta_{50} = 16,7$ мкм і $\delta_{50} = 67$ мкм.

Фізико-механічні властивості висушеного молока безпосередньо впливають на якість готового продукту, відновлюваність і строки його зберігання. Розчинність сухих молочних продуктів визначається розміром і первинною структурою частинок. Властивості висушеного молока, такі як густина, об'ємна маса, кут природного відкосу, гранулометричний склад (дисперсність) і діаметр частинок використовують під час конструювання бункерів, транспортуючих механізмів, дозаторів.

Для дослідження зміни цих властивостей під час процесу знепилення та оцінки ступеню ефективності апаратів знепилення були проведені визначення показників виробленого продукту. Властивості зразків сухого молока з різних точок наведені в таблиці 1 (СЗМ - сухе знежирене молоко, СНМ - сухе незбиране молоко).

Таблиця 1

Фізико-механічні властивості сухого молока

№	Умови виробництва й	Густина кг/м ³	Злипає-мість,	Дисперсність		Кут природного укося, град	
				σ	d ₅₀	статичний	динамічний
I	Сушарка ЦАН-300, розпилювальний диск із криволінійними каналами, СЗМ	1090	456	2,12	18	70	52
		1098	468	2,13	10,8		
		1120	510	2,1	8,5		
		1112	475	2,18	16,8		
II	Сушарка ЦТ-500, сопловий розпилювальний диск, СЗМ	1095	465	2,2	14	57	45
		1100	508	2,3	10,5		
		1135	543	2,15	8,3		
		1110	496	2,25	12,6		
III	Сушарка ЦАН-300, розпилювальний диск із криволінійними каналами, СНМ	1280	560	2,8	72,5	75	48
		1250	568	2,35	62,8		
		1230	645	2,3	28		
		1260	596	2,85	67		
IV	Сушарка ЦТ-500, сопловий розпилювальний диск, СНМ	1240	570	2,9	68	78	60
		1230	580	2,2	57,5		
		1190	675	2,4	29,5		
		1220	608	3,15	58,6		

У продукті, що має значну кількість дрібних частинок насипна маса ущільненого шару вище, ніж у молока, відібраного безпосередньо після сушарки. Результати визначення дозволяють сказати, що при русі по газоходах і під час знепилення спостерігається руйнування висушених частинок зі збільшенням густини до 10 % від значень вихідного продукту для зразків сухого знежиреного молока. Густина порошку сухого незбираного молока характеризується деяким зменшенням даного

показника. Це пов'язано із частковим руйнуванням первинної структури готового продукту й зменшенням розміру частинок, властивостями вихідної сировини.

Аналіз дисперсного складу (рис. 8) показує, що на розмір частинок впливає режим руху й процес знепилення. Під час руху частинок продукту в газоходах до апаратів знепилення знижується їх середній діаметр і зменшується частка великих, відбувається руйнування агломератів до поодиноких частинок. Необхідно зводити до мінімуму механічний вплив на уловлений пил, який є готовим продуктом, що відбувається при зміні напрямку руху газової суміші по газоходах до знепилюючого апарата, а також зменшувати довжину газовідвідного тракту.

У п'ятому розділі, з урахуванням визначеного співвідношення потоків та основних конструктивних і раціональних режимних параметрів, наведено методику розрахунку та результати розробки типорозмірного ряду вихрових пиловловлювачів. Визначено на яких промислових об'єктах пропонується використання даних апаратів. Представлено типорозмірний ряд, наведені рекомендації щодо проектування, виготовлення та експлуатації вихрових знепилюючих апаратів.

Апробацію результатів дослідження здійснено на ВАТ "Молочанський молочноконсервний комбінат". Вихровий пиловловлювач розробленої конструкції дозволяє проводити знепилення газів із ефективністю до 93 %. Підвищенням ефективності знепилення на 10–12 % додатково вловлено більше 3 тонн/рік сухого молока. Зменшено платежі за викиди в атмосферу на суму 2 тис. грн., а загальна економія від впровадження результатів дисертації склала більш 50 тис. грн/рік.

ВИСНОВКИ

1. Запропоновано використання вихрових закручених потоків із їх рухом в апараті в одному напрямку для знепилення газів на підприємствах по виробництву сухого молока. Показано, що існує низька ефективність роботи діючого устаткування (75 - 80 %) і втрати якісного продукту від 1,5 до 10 т/рік або більше на кожному підприємстві, що обумовлено фізико-механічними властивостями готового продукту, які не дозволяють ефективно застосовувати пиловловлювачі типа циклон, тканинний фільтр.
2. Розроблена математична модель враховує головні чинники, що впливають на процес відокремлення частинок (кут нахилу лопаток завихрювача, швидкість газового потоку, конструктивні параметри апарата).
3. Визначені аналітичні залежності для розрахунку зміни тиску, ефективності роботи апарата із завихрювачем в діапазоні значень $3 \cdot 10^6 < Re < 7 \cdot 10^6$, що враховують параметри закручення газового потоку, які використані при оцінці інтенсивності процесу знепилення.
4. Отримано експериментальні дані радіального розподілу складових швидкостей закрученого газового потоку з відображенням епюри. Обґрунтовано використання певного співвідношення основного і додаткового газових потоків. Встановлено існування трьох режимів роботи вихрового апарата, що дало змогу визначити раціональні умови експлуатації з точки зору процесу знепилення при $K=0,75 \div 0,8$.

5. Виявлено вплив фізико-механічні властивостей й дисперсного складу висушеного молока на ефективність відокремлення, а також змінювання цих параметрів при русі по газоходах і під час знепилення. Показано, що збільшення механічного впливу на пилові потоки впливає на початкову структуру й властивості сухого молока. При цьому зменшення середнього лінійного діаметра частинок негативно позначається на розчинності й смакових властивостях готового продукту.

6. Визначено ефективність знепилення й втрати тиску у вихровому пиловловлювачі. Встановлено вплив режимних і конструктивних параметрів на опір і ефективність роботи апарата. Так, при співвідношенні потоків $K=0,8$ та умовній швидкості в апараті $W=10-12$ м/с (для апаратів діаметром 600-1200 мм) забезпечується ступінь знепилення 90-93 %.

7. На підставі теоретичних і експериментальних досліджень запропонована методика розрахунку вихрового пиловловлювача й визначена область застосування апарата в промисловості (підприємства харчової, хімічної промисловості). Розроблено типорозмірний ряд, наведені рекомендації із проектування, виготовлення й експлуатації вихрових пиловловлювачів.

8. Визначена й підтверджена в промислових умовах висока ефективність роботи апарата із закрученими потоками, які рухаються в одному напрямку. Результати досліджень використані на ВАТ “Молочанський молочноконсервний комбінат” (ММКК). Впровадження вихрового пиловловлювача дозволило підвищити ефективність знепилення при виробництві сухого молока на 10-12 %. Додатково вловлено більше 3 т/рік готового якісного продукту, зменшено платежі за викиди в атмосферне повітря на суму 2 тис. грн/рік, а загальна економія від використання результатів дисертації склала більше 50 тис. грн.

Список опублікованих наукових праць

1. Євса Л.М. Модернізація сушильної установки / Л.М. Євса, В.Ф. Вавіло // Харчова та переробна промисловість. – 2001. – № 12. С. 30 - 31.

Здобувачем сформульовані основні шляхи модернізації діючих сушильних установок молочноконсервних виробництв.

2. Евса Л.М. Технические вопросы ресурсосбережения и очистка воздуха при производстве сухих молочных продуктов // Вісник СумДУ. Серія “Технічні науки”. – 2002. – № 9 (42). – С. 161-163.

3. Евса Л.М. Расчет полей скоростей и давления в вихревом пылеуловителе с завихрителем / Л.М. Євса, В.В. Губачев // ОНАХТ. Наук. праці. Вип. 26. – Одеса, 2003. – С. 275 -277.

Здобувачем визначені загальні рівняння, які описують аеродинамічні характеристики закручених потоків та виконано підготовку і оформлення публікації.

4. Евса Л.М. Исследование процесса сушки молока на распылительной сушильной установке ЦАН-300 / Л.М. Евса, В.Г. Рыжков // Экотехнологии и ресурсосбережение. – 2004. – № 2 – С. 61 - 63.

добувачем виконані експериментальні дослідження, аналіз даних, підготовка публікації.

5. Евса Л.М. Исследование полей скоростей цилиндрическим трехканальным зондом / Л.М. Евса, В.В. Губачев // Экотехнологии и ресурсосбережение. – 2005.– № 4 – С. 66 - 69.

Здобувачем виконано планування експерименту, дослідження лабораторної моделі вихрового апарату. Проведено обробку одержаних експериментальних даних.

6. Дослідження фізико - хімічних властивостей сипких консервів / , Л.М. Євса, О.В. Опришко // ОНАХТ. Наук. праці. Вип. 29. Одеса.– 2006.– С. 129-134.

Здобувачем розроблена програма досліджень, проведено виконання досліджень, узагальнення одержаних даних.

7. ПАТ. 47803А Україна, МКИ В04С 3/06. Вихровий пилоуловлювач / Л.М. Євса, В.Ф. Вавіло – № 2001096517; Заявлено 24.09.2001; Опубл. 15.07.2002, Бюл. № 7. – 2 с.

Здобувач приймав участь у розробці конструкції, обговоренні та формулюванні формули винаходу.

8. ПАТ. № 5852 Україна, МКИ В04С 3/06. Вихровий пиловловлювач / Л.М. Євса – № 20040907479; Заявлено 18.09.2004; Опубл. 15.03.2005, Бюл. № 3. –3 с.

9. Євса Л.М. Дослідження процесу сушіння з метою підвищення продуктивності при виробництві сухого молока / Л.М. Євса, Ю.П. Павленко // Матеріали Міжнарод. наук. конф. молодих вчених, аспірантів та студентів “Сучасні методи створення нових технологій та обладнання в харчовій промисловості”. - К., НУХТ, 2002. – Ч. II. – С.129 -130.

Здобувач виконав експерименти по дослідженню технологічних параметрів процесу сушіння та приймав участь під час обробки отриманих результатів.

10. Євса Л.М. Дослідження вихрового пиловловлювача // Зб. тез доповідей V Міжнарод. наук.-практич. конф. студентів, аспірантів та молодих вчених “Екологія. Людина. Суспільство”. – К., ІВЦ “Видавництво “Політехніка”, 2002. – С. 410 - 412.

11. Євса Л. Ресурсозбереження та очистка відходящих газів при виробництві харчових продуктів // XXIV International Symposium AQUA 2003. Warsaw Technical University in Plock (Poland), May 23-24, 2003. – P. 384 - 386.

12. Евса Л.М. Новые решения и технологии очистки газов в пищевой промышленности / Л.М. Евса, В.В. Губачев, З.В. Кучма // Сб. материалов III науч.-практич. конф. “Переработка энергоресурсных отходов. Проблемы и решения по очистке отходящих газов и теплоутилизации”. Киев: “Знание”, 2003. С. 37-38.

Здобувачем обґрунтована доцільність заміни існуючого обладнання знепилення вихровими апаратами.

13. Павленко Ю.П. Дослідження факторів змінювання структури і фізико-хімічних характеристик сухого молока / Ю.П. Павленко, Л.М. Євса // Матеріали 70-ї наук. конф. молодих вчених, аспірантів і студентів “Наукові здобутки молоді – вирішенню проблем харчування людства у XXI столітті”, 20-21 квітня 2004 р. – Ч.

К.: НУХТ, 2004. – С. 29.

Здобувачем виконані експерименти, обробка отриманих результатів.

14. Дослідження властивостей сипких консервів /

Л.М. Євса, О.В. Опришко // Тези доповідей Міжнарод. наук.-
практ. конференції “Харчові технології – 2005”. – Одеса, 2005. – С. 115.

*Здобувачем здійснено планування експерименту, виконання досліджень,
узагальнення одержаних даних.*

Анотація

Євса Л.М. Удосконалення роботи вихрових апаратів при знепиленні газів молочноконсервних виробництв. – Рукопис.

Дисертація на здобуття наукового ступеня кандидата технічних наук за спеціальністю 05. 18. 12 – процеси та обладнання харчових, мікробіологічних та фармацевтичних виробництв. – Одеська національна академія харчових технологій, Міністерства освіти і науки України, Одеса, 2006.

Дисертація присвячена дослідженню процесів, які відбуваються під час знепилення газів молочноконсервних виробництв. За рахунок впровадження удосконалених вихрових апаратів для знепилення газів, зменшуються втрати готової продукції, забруднення навколишнього середовища та робочих приміщень.

Визначено, що значна кількість сушарок по виробництву сухого молока знаходиться в експлуатації з 1970-1980 років. В наступний час все обладнання підлягає докорінній реконструкції. Перспективним напрямком удосконалювання діючих та розробки нових апаратів знепилення є відцентрові апарати, в яких уловлений готовий продукт повертається безпосередньо у виробництво. Вихрові пиловловлювачі забезпечують ефективність знепилення не менше 93 %, прості по конструкції, у виготовленні, монтажі та експлуатації, надійні в роботі, універсальні і економічні.

На основі всебічного аналізу параметрів роботи вихрового апарату запропоновані методика розрахунку, оптимальні характеристики експлуатації даних пиловловлювачів та типорозмірний ряд. Досконало вивчені властивості сухих молочних продуктів, які використовуються під час проектування апаратів знепилення. Вихрові апарати розробленої конструкції менш енергоємні, металоємні, мають кращі технологічні показники, насамперед високу ступінь очищення порівняно з існуючими апаратами відцентрової дії.

Ключові слова: знепилення газів, вихровий апарат, поля швидкості, сухе молоко, дисперсність, фізико-механічні властивості, ефективність знепилення.

Аннотация

Евса Л.М. Усовершенствование работы вихревых аппаратов при обеспыливающих газов молочноконсервных производств. – Рукопись.

Диссертация на соискание научной степени кандидата технических наук по специальности 05.18.12 – процессы и оборудование пищевых, микробиологических

и фармацевтических производств. – Одесская национальная академия пищевых технологий, Министерства образования и науки Украины, Одесса, 2006.

17

Диссертация посвящена исследованию процессов, которые происходят во время обеспыливания газов. Выполненные в диссертации исследования развивают и углубляют новое направление в теории и практике обеспыливания газов предприятий пищевой промышленности. Внедрение усовершенствованных вихревых аппаратов позволяет уменьшить потери готового продукта, загрязнение окружающей природной среды и рабочих помещений, а в целом несколько снизить себестоимость продукции. Установлено, что в настоящее время значительная часть технологического оборудования подлежит реконструкции путем внедрения ресурсосберегающих аппаратов и технологий.

В пищевой промышленности очистка технологических газов является частью основного производства. Кроме санитарно-экологического аспекта, проблема обеспыливания, даже в большей мере, имеет ресурсосберегающую и экономическую сторону – с отработанным газом теряется значительное количество готового продукта. Практика эксплуатации циклонов на предприятиях по производству сухого молока показала, что они подвержены налипанию частиц сухого продукта на стенках аппарата и его элементах. При этом эффективность очистки от пыли не превышает 75 - 80 %, а концентрация пыли на выходе из аппарата достигает 400 мг/м³.

Перспективным направлением в разработке нового оборудования являются вихревые аппараты, в которых готовый продукт возвращается непосредственно в производство. На основе расширенного анализа параметров работы вихревого аппарата предложены методика расчета, оптимальные характеристики эксплуатации пылеуловителей, разработан типоразмерный ряд. Новая конструкция вихревого аппарата имеет лучшие технологические показатели, в первую очередь высокую степень обеспыливания с сохранением качества высушенного молока. Во время испытаний аппарата в промышленных условиях проверена и подтверждена высокая эффективность работы вихревого пылеуловителя.

Результаты исследований использованы во время реконструкции системы обеспыливания газов от сушильной установки ЦАН-300 на Молочанском молочно-консервном комбинате. Внедрение аппарата позволило увеличить эффективность обеспыливания на 10-12 % и дополнительно уловить до 3 т/год готового продукта. Уменьшены платежи за выбросы загрязняющих веществ в атмосферный воздух на сумму 2 тыс. грн/год, а общая экономия от внедрения результатов работы составила более 50 тыс. грн.

Ключевые слова: обеспыливание газов, вихревой аппарат, поля скоростей, дисперсность, сухое молоко, физико-механические свойства, эффективность.

Summary

L.M. Evsa. The improvement of operation of the rotational apparatus during dedusting of concentrated milk factories gases. – Manuscript.

The thesis for a Candidate of Science degree, speciality 05.18.12 – Processes and equipment of food, microbiological and pharmaceutical plants. – Odessa National

The thesis is dedicated to the research of processes occurring during dedusting of gases. The research carried out in the thesis develops and extends new trend in theory and practice of dedusting of gases in food production plants. Introduction of the improved rotational apparatus allows the decrease of the finished product loss, environmental and working facilities pollution, and in general slightly cut down the production price. It was determined that at present the majority of production equipment is subject to reconstruction by means of introduction of resource-saving apparatus and technologies.

A promising trend in the development of novel equipment is the rotational apparatus in which the finished product is returned directly to production. Just like whirlers the rotational dedusters are easy to use, mount and operate, and also reliable. Based on the carried out research of the rotational apparatus operation parameters we have determined the optimal characteristics of the dedusters operation, specified the calculation procedure, developed the dimension-type line. The proposed design of the rotational apparatus shows the improved technological parameters, firstly the high dedusting rate with preservation of the dried milk quality.

Key words: dedusting of gases, rotational apparatus, fields of velocities, dispersibility, dried milk, physical and mechanical properties, operation efficiency.

