

ХАРКІВСЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ ТЕХНІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ  
СІЛЬСЬКОГО ГОСПОДАРСТВА ІМЕНІ ПЕТРА ВАСИЛЕНКА

Славкова Лариса Геннадіївна

УДК 631.363.7

**ОБҐРУНТУВАННЯ ПАРАМЕТРІВ ПРОЦЕСУ І РОЗРОБКА  
ГРАВІТАЦІЙНОГО ЗМІШУВАЧА КОНЦЕНТРОВАНИХ КОРМІВ З  
ЖИРОРОЗЧИННИМИ ВІТАМІНАМИ**

05.05.11 – машини і засоби механізації сільськогосподарського виробництва

Автореферат  
дисертації на здобуття наукового ступеня  
кандидата технічних наук

Харків – 2014

Дисертацією є рукопис.

Робота виконана в Харківському національному технічному університеті сільського господарства імені Петра Василенка Міністерства аграрної політики та продовольства України.

Науковий керівник: кандидат технічних наук, професор Науменко Олександр Артемович, Харківський національний технічний університет сільського господарства імені Петра Василенка, директор ННІ технічного сервісу, завідувач кафедри технічних систем і технологій тваринництва ім. Б.П. Шабельника.

Офіційні опоненти:

доктор технічних наук, старший науковий співробітник Шацький Віктор Васильович, Запорізький науково-дослідний центр з механізації тваринництва ННЦ «ІМЕСГ» НААН України, заступник директора з наукової роботи;

кандидат технічних наук Щур Тарас Григорович, Львівський національний аграрний університет, в. о. доцента кафедри тракторів і автомобілів.

Захист відбудеться 12 червня 2014 р. о 10 годині на засіданні спеціалізованої вченої ради Д 64.832.01 в Харківському національному технічному університеті сільського господарства імені Петра Василенка за адресою: 61002, м. Харків, вул. Артема, 44.

З дисертацією можна ознайомитись у бібліотеці Харківського національного технічного університету сільського господарства імені Петра Василенка за адресою: 61002, м. Харків, вул. Артема, 44.

Автореферат розісланий 7 травня 2014 р.

Вчений секретар  
спеціалізованої вченої ради



О.Д. Черенков

## ЗАГАЛЬНА ХАРАКТЕРИСТИКА РОБОТИ

**Актуальність теми.** Визначальною умовою зниження собівартості та підвищення конкурентоспроможності продукції тваринництва є годівля тварин повноцінними кормами, збалансованими за поживними речовинами, амінокислотами, вітамінами і мікроелементами, при мінімальних енергетичних витратах для їх приготування. Особливого значення при цьому набуває процес змішування концентрованих кормів з жиророзчинними вітамінами, які гарантують підвищення продуктивності тварин, їх репродуктивні функції і зниження захворюваності. Але існуючі засоби механізації не здатні забезпечити рівномірне розподілення вітамінів, які перебувають в рідкому стані, у заданому об'ємі концентрованих кормів. Подальше зростання продуктивності тварин вимагає підвищення ефективності процесу змішування концентрованих кормів з жиророзчинними вітамінами.

Проведеним аналізом відомих досліджень і конструкцій змішувачів встановлено, що перспективним напрямком підвищення ефективності процесу змішування концентрованих кормів з жиророзчинними вітамінами є його інтенсифікація в результаті застосування нової конструкції змішувача. Таким чином, обґрунтування параметрів процесу змішування концентрованих кормів з жиророзчинними вітамінами та розробка нової конструкції змішувача є актуальним науково-прикладним завданням для подальшого розвитку тваринницької галузі України.

### **Зв'язок роботи з науковими програмами, планами, темами.**

Робота виконана відповідно з Державною цільовою програмою «Розвиток українського села до 2015 р.», до Законів України: «Про основні напрямки державної аграрної політики на період до 2015 р.», «Про державну підтримку сільського господарства України»; із розділом комплексної теми НДР ХНТУСГ «Розробка і удосконалення технологічних процесів виробництва продукції тваринництва і засобів механізації їх виконання»; із НДР «Обґрунтування параметрів процесу змішування концентрованих кормів з жиророзчинними вітамінами гравітаційним змішувачем» (ДР №0109U000362, 2009-2014 рр.).

**Мета і завдання дослідження.** Метою роботи є підвищення ефективності процесу змішування концентрованих кормів з жиророзчинними вітамінами шляхом обґрунтування його параметрів та розробки нової конструкції гравітаційного змішувача.

Для досягнення поставленої мети визначені наступні завдання дослідження:

- провести аналіз існуючих технічних засобів та способів змішування сипких матеріалів з малими кількостями рідини та визначити напрями їх удосконалення;
- створити математичні моделі процесу розпилення рідини розробленим пневматичним розпилювачем;
- створити математичні моделі нелінійної динаміки двофазного шару сипкого матеріалу при зрошуванні його краплинним потоком рідини розробленим гравітаційним змішувачем;
- виготовити експериментальний зразок, виконати експериментальні дослідження та визначити ефективність процесу змішування та оптимальні конструктивно-технологічні параметри змішувача;
- розробити, виготовити виробничий зразок, провести порівняльні з серійним випробування гравітаційного змішувача та визначити техніко-економічну ефективність його застосування.

**Об'єкт дослідження:** технологічний процес змішування концентрованих кормів з жиророзчинними вітамінами, зв'язок його з конструктивно-технологічними параметрами змішувача та механіко-технологічними властивостями змішуваних компонентів.

**Предмет дослідження:** обґрунтування параметрів процесу і розробка гравітаційного змішувача концентрованих кормів з жиророзчинними вітамінами.

**Методи дослідження:** теоретичні дослідження виконані із застосуванням законів динаміки, положень теорії суцільних середовищ та сучасних методів моделювання. Експериментальні дослідження проведені на виготовлених експериментальних установках. Обробка результатів досліджень виконана з використанням положень теорії ймовірності та математичної статистики з використанням пакетів програм «Matlab», «Mathcad», «Excel». Для визначення оптимальних співвідношень конструктивно-технологічних параметрів змішувача застосована методика планування факторного експерименту. Виробничі випробування змішувача проведені у відповідності з методикою випробувань машин для тваринництва.

#### **Наукова новизна одержаних результатів:**

- вперше проведеним моделюванням нелінійної динаміки струменю рідини у розпилювальній головці розпилювача і в зоні розпилення одержані залежності швидкості руху краплин, їх траєкторії від витрат повітряно-рідинної суміші за різної в'язкості [2-4, 6];

- для керування і розрахунку технологічних показників продуктивності та ефективності процесу створені нові математичні моделі нелінійної динаміки двофазного шару сипких матеріалів, на який діє спрямований потік дрібнодисперсних краплин рідини, в яких вперше враховані конструктивно-технологічні параметри змішувача та механіко-технологічні властивості змішуваних компонентів [5, 8, 15];

- для оцінки впливу змішувача на ефективність процесу змішування концентрованих кормів з жиророзчинними вітамінами вперше виконано комплексне обґрунтування його параметрів з урахуванням режимів роботи, і механіко-технологічних властивостей кормів і вітамінів [1, 7, 9-14].

#### **Практичне значення одержаних результатів.**

Розроблена нова конструкція гравітаційного змішувача сипких матеріалів з малими кількостями рідини. Використання розробленого змішувача підвищує ефективність процесу змішування концентрованих кормів з жиророзчинними вітамінами до 97% і знижує енергоємність у 6 разів.

На основі проведених досліджень виготовлено виробничий зразок гравітаційного змішувача, який випробувано в експлуатаційних умовах ПСП «Нива» Коропського району Чернігівської області при змішуванні концентрованих кормів з жиророзчинними вітамінами. Економічний ефект від зниження експлуатаційних витрат процесу змішування складає більше 12 тис. грн., за рахунок збільшення продуктивності тварин, – більше 143 тис. грн.

**Особистий внесок здобувача.** Основні результати дисертаційної роботи здобувачем одержані особисто. У наукових працях, які виконані в співавторстві, особистий внесок наступний: [1, 12-14] – запропоновано напрямок удосконалення способів змішування і конструкцій змішувачів сипких матеріалів з малими кількостями рідини; [6] – розв'язана теоретична задача з визначення параметрів факелу розпилення пневматичною форсункою; [7] – виконані експериментальні дослідження з визначення динамічної в'язкості вітаміну Е; [8] – виконано розрахунок щільності сипкого

матеріалу в камері змішування гравітаційного змішувача; [9] – запропоновано тип розпилювача і його конструкцію; [10] – обґрунтовано спосіб змішування; [11] – запропоновано конструктивну схему змішувача; [15] – проведено теоретичне дослідження руху краплин рідини в розрідженому шарі концентрованих кормів.

**Апробація результатів дисертації.** Результати дисертаційної роботи доповідались: на міжнародних науково-практичних конференціях (МНПК) «Механізація сільськогосподарського виробництва та переробка сільськогосподарської продукції» (ХНТУСГ ім. Петра Василенка, Харків, 2010, 2011 рр.); на ІХ, Х, ХІ МНПК «Інженерно-технічне забезпечення інноваційних технологій сервісу машин» (ХНТУСГ ім. Петра Василенка, Харків, 2010 - 2013 рр.); на МНПК «Технічний прогрес у сільськогосподарському виробництві» (ННЦ ІМЕСГ, Глеваха, 2011 р.); на МНПК «Современные биотехнические системы и ресурсоиспользование в животноводстве» (ТДАТУ, Мелітополь, 2011 р.); на МНПК «Сучасні проблеми землеробської механіки» пам'яті академіка П.М. Василенка (Луганський НАУ, Луганськ, 2011 р.; Дніпропетровський ДАУ, Дніпропетровськ, 2012, 2013 рр.); на МНПК «Сучасні технології виробництва та переробки продукції тваринництва і забезпечення її якості» (Білоцерківський НАУ, Біла Церква, 2012 р.); на ХVІІ МНПК «Проблемы и перспективы инновационного развития животноводства» (ФГБОУ ВПО БГСХА им. В. Я. Горина, Белгород, 2013 г.).

**Публікації.** Результати дисертаційної роботи опубліковані в 10 наукових статтях, в тому числі в 8 фахових виданнях, 2 за кордоном, в 2 тезах конференцій; 5 публікацій виконано самостійно. Одержано 3 патенти України.

**Структура й обсяг дисертації.** Дисертація складається з вступу, 5 розділів, загальних висновків, списку використаних джерел із 136 найменувань і додатків. Повний обсяг дисертації викладено на 198 сторінках комп'ютерного тексту (основна частина – 155 сторінок), містить 48 рисунків, 9 таблиць і додатків на 43 сторінках.

## ОСНОВНИЙ ЗМІСТ

**У вступі** обґрунтовані актуальність теми, зв'язок роботи з науковими програмами, планами і темами, сформульовані мета, завдання досліджень, наведено наукову новизну та практичне значення одержаних результатів.

**У першому розділі** наведено аналіз відомих досліджень процесу змішування сипких матеріалів із малими кількостями рідини, конструкцій змішувачів та визначено напрям підвищення ефективності змішування концентрованих кормів з жиророзчинними вітамінами.

Дослідженню процесів змішування сипких матеріалів із рідиною присвячені роботи В.В. Шацького, Ю.І. Макарова, Г.Е. Іванець, І.А. Бакіна, С.А. Ратнікова, В.В. Садова, А.А. Александровського, Ф.Г. Ахмадієва, В.Н. Іванець та ін.

Перспективним напрямом підвищення ефективності процесу змішування концентрованих кормів з жиророзчинними вітамінами є збільшення поверхонь їх міжфазового контакту, обмеження попадання вітамінів на робочі органи змішувача, за рахунок розробки нової конструкції гравітаційного змішувача (рис. 1), який забезпечить псевдорозрідження концентрованих кормів та розпилення жиророзчинних вітамінів, з мінімальними витратами енергії.

Таким чином, необхідно вирішити науково-прикладне завдання з обґрунтування параметрів процесу змішування концентрованих кормів з жиророзчинними вітамінами.

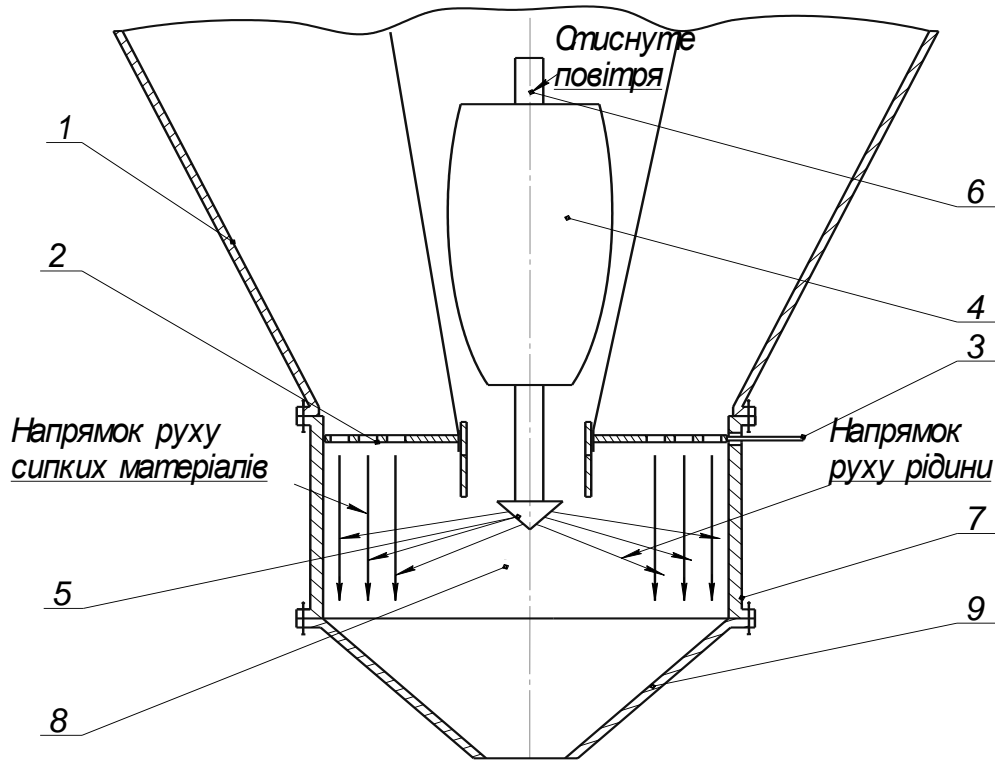


Рис. 1. Конструктивна схема розробленого гравітаційного змішувача: 1 – бункер; 2 – дозатор вібраційно-решітний; 3 – привід дозатора; 4 – ємкість для рідини; 5 – розпилювач; 6 – патрубок стиснутого повітря; 7 – корпус; 8 – камера змішування; 9 – конус вивантажувальний

Працює розроблений змішувач наступним чином. Сипкий концентрований корм завантажується в бункер 1, а жиророзчинні вітаміни в ємкість 4. При роботі вібраційного дозатора 2, який виконано в вигляді кільцевого решета з отворами меншими отворів склепіноутворення та можливістю його коливання в своїй площині, сипкий концентрований корм в псевдорозрідженому стані подається в змішувальну камеру 8 в вигляді порожнистого циліндра. Одночасно в камеру змішування, розпилювачем 5, подаються жиророзчинні вітаміни в стані дрібнодисперсних краплинок, які проникають у псевдорозріджений шар концентрованого корму, утворюючи при цьому однорідну кормову суміш.

**У другому розділі** наведені результати теоретичних досліджень з математичного моделювання розпилення жиророзчинних вітамінів пневматичним розпилювачем, у результаті чого одержані теоретичні залежності швидкості руху краплин, їх траєкторії та план швидкостей окремих краплин від витрат, і в'язкості жиророзчинних вітамінів. Дослідженням нелінійної динаміки псевдорозрідженого шару сипкого концентрованого корму, на який діє спрямований потік дрібнодисперсних краплин жиророзчинних вітамінів, побудовані траєкторії їх руху в шарі кормів та визначена ефективність їх розподілення в залежності від конструктивно-технологічних параметрів змішувача та механіко-технологічних властивостей змішуваних компонентів. Для оперативного визначення параметрів витрат повітря і жиророзчинних вітамінів, які забезпечать сприятливі умови їх змішування, побудовані лінії рівнів рівномірності змішування  $\eta(Q_{нов}, Q_{pid})$ .

Робочим елементом пневматичного розпилювача 5 (рис. 1) є розпилювальна головка, розрахункові схеми якої наведені на рис. 2.

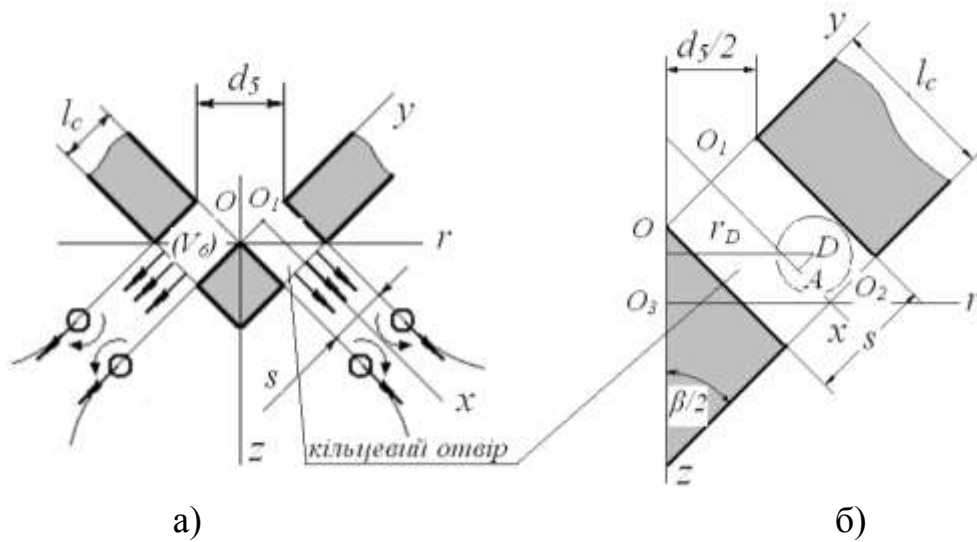


Рис. 2. Розрахункові схеми визначення конструктивних параметрів:

а) розпилювальної головки; б) її робочого кільцевого щілинного отвору

Спочатку дослідимо нелінійну динаміку утворення повітряно-рідинної суміші. Представимо швидкість її руху в кільцевому щілинному отворі (рис. 2, а) наступним рівнянням:

$$\vec{v} = \vec{v}(xy) = \vec{e}_x v(x, y) = \vec{e}_x v_c \left[ 1 - \left( \frac{2y}{l_c} \right)^2 \right], \quad (1)$$

де  $v_c$  визначається витратами  $Q$  суміші через вхідний отвір  $d_5$  розпилювальної головки:

$$Q = \pi \frac{d_5^2}{4} v_0, \quad (2)$$

де  $v_0$  - швидкість суміші на вході в кільцевий отвір;  $l_c$  - товщина стінки розпилювальної головки.

Позначимо через  $y_D$  координату т.  $D$  у системі координат  $x, y, z$  з центром в т.  $O_1$  і ортами  $\vec{e}_x, \vec{e}_y, \vec{e}_z$  (рис. 2, б). Запишемо вираз циліндричного радіусу в початковій системі координат через координати т.  $D(x_A, y_D)$ :

$$r_D = \frac{d_5}{2} + x_A \cos\left(\frac{\beta}{2}\right) + y_D \sin\left(\frac{\beta}{2}\right), \quad (3)$$

де  $\beta$  - кут розхилу конусу розпилювача.

Тоді витрати повітряно-рідинної суміші через поперечний перетин кільцевого щілинного отвору в т.  $A$  (рис. 2, б) визначимо інтегралом:

$$Q = 2\pi \int_{-s/2}^{s/2} v(x_A, y) r_D(x_A, y) dy = 2\pi s v_s \left( \frac{d_5}{2} + x_A \cos\frac{\beta}{2} \right) \left( 1 - \frac{s^2}{3l_c^2} \right) \quad (4)$$

де  $s$  - ширина кільцевого щілинного отвору.

Приймаючи до уваги вирази (2) і (4), одержимо:

$$v_c = v_0 \frac{3d_5^2 l_c^2}{4s \left[ 3d_5 l_c^2 + 6x \cos\left(\frac{\beta}{2}\right) l_c^2 - s^2 d_5 + 2s^2 x_A \cos\left(\frac{\beta}{2}\right) \right]}. \quad (5)$$

Поле швидкостей (1) розглядаємо як плоске поле, вихор  $\vec{\omega}$  якого направлений перпендикулярно площині  $xOy$ :

$$\vec{\omega} = -\frac{l \partial v}{2 \partial y} \vec{e}_z. \quad (6)$$

Враховуючи співвідношення (1), отримаємо в кінцевому вигляді:

$$\vec{\omega} = \frac{6}{d_5^2} \sin^2\left(\frac{\beta}{2}\right) v_c y \vec{e}_z. \quad (7)$$

На краплину рідини після вилітання її із розпилювальної головки діють: сила тяжіння з інтенсивністю  $\vec{g}$ , сила Стокса  $\vec{F}_C$  і сила Магнуса  $\vec{F}_M$ , вирази яких визначаються співвідношеннями:

$$\vec{F}_C = -3\pi\mu_g d_d \vec{v}, \quad \vec{F}_M = \frac{\pi}{8} d_d^3 \rho_g (\vec{\omega} \times \vec{v}), \quad (8)$$

де  $\mu_g$  - динамічна в'язкість повітря;  $d_d$  - діаметр краплин рідини;  $\rho_g$  - щільність середовища;  $\vec{v}, \vec{\omega}$  - вектори швидкості центру мас краплини і миттєвої кутової швидкості її обертання. Векторне рівняння нелінійної динаміки краплини рідини має наступний вигляд:

$$\frac{\pi}{6} d_d^3 \rho_f^0 \ddot{\vec{r}} = -3\pi\mu_g d_d \dot{\vec{r}} + \frac{\pi}{8} \rho_g d_d^3 \omega (-y \vec{e}_x + x \vec{e}_y) + \frac{\pi}{6} d_d^3 \rho_f^0 \vec{g}, \quad (9)$$

де  $\rho_f^0$  - щільність рідини.

Доповнимо його рівнянням, що виражає зміну відносного кінетичного моменту краплини:

$$\frac{d\vec{L}}{dt} = \vec{M}, \quad (10)$$

де  $\vec{L} = I\vec{\omega}$  - кінетичний момент сферичної краплини;  $I = md_d^2/10$  - її осьовий момент інерції;  $\vec{M} = -8\pi\mu_g (d_d/2)^3 \vec{\omega}$  - момент сил, що діють на краплину при її обертанні в повітрі.

Введемо позначення:

$$C_M = \frac{\mu_g}{\rho_f^0 d_d^2}, \quad K_M = \frac{3\rho_g}{\rho_f^0}.$$



Тоді в проекціях на осі координат  $r, z$  одержимо систему диференційних рівнянь відносно невідомих координат центру краплини  $R, Z$  і проекції  $\omega$  на напрямок, перпендикулярний площині  $rOz$ :

$$\begin{aligned} \ddot{R} &= -18C_M \dot{R} + K_M \omega \dot{Z}; & \ddot{Z} &= -18C_M \dot{Z} - K_M \omega \dot{R} + g; \\ \dot{\omega} &= -60C_M \omega. \end{aligned} \quad (11)$$

Якщо ввести змінні  $V_1 = \dot{R}$ ;  $V_2 = \dot{Z}$ , то систему рівнянь (11) можна розглядати в вигляді системи із п'яти диференційних рівнянь відносно  $V_1, V_2, \omega, R, Z$ :

$$\begin{aligned} \dot{V}_1 &= -18C_M V_1 + K_M \omega V_2; & \dot{V}_2 &= -18C_M V_2 - K_M \omega V_1 + g; \\ \dot{\omega} &= -60C_M \omega; & \dot{R} &= V_1 & \dot{Z} &= V_2. \end{aligned} \quad (12)$$

У якості початкових умов розв'язку системи рівнянь (12) приймемо:

$$\begin{aligned} V_1(0) &= V_c(l_c) \left[ 1 - \left( \frac{2y_d}{s} \right)^2 \right] \cos\left(\frac{\beta}{2}\right); & V_2(0) &= V_c(l_c) \left[ 1 - \left( \frac{2y_D}{s} \right)^2 \right] \sin\left(\frac{\beta}{2}\right); \\ \omega(0) &= \frac{6}{d_5^2} \sin^2\left(\frac{\beta}{2}\right) V_c(l_c) y_D; & R(0) &= r_D = \frac{d_5}{2} + l_c \cos\left(\frac{\beta}{2}\right) + y_D \sin\left(\frac{\beta}{2}\right); \\ Z(0) &= y_D \cos\left(\frac{\beta}{2}\right). \end{aligned}$$

Результати числового розв'язку (12), для різних чином розподілених по  $y_D$  краплин, наведені на рис. 3.

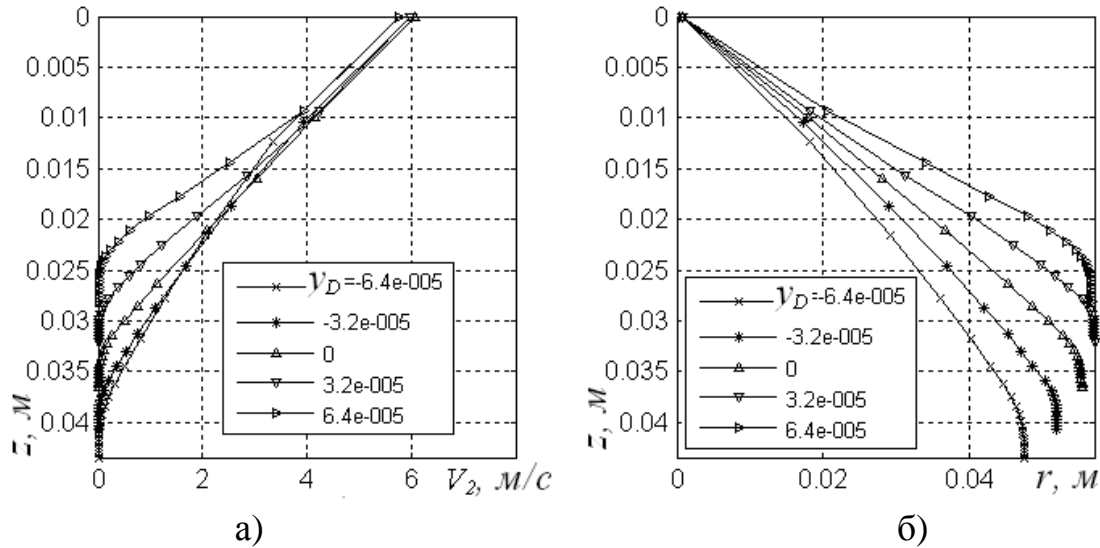


Рис. 3. Швидкості (а) і траєкторії (б) руху краплин рідини після вилітання їх із розпилювальної головки

Швидкість руху краплин рідини в повітрі після вилітання їх із розпилювальної головки сповільнюється під впливом сили Стокса від 6 м/с до 0 м/с при зростанні координати  $Z$  від 0 до 0,06 м. Подальший рух краплин відбувається вертикально вниз під дією сили тяжіння. Обертання краплин веде до додаткового їх відхилення від

прямолінійного руху: краплини, що розташовані ближче до осі ( $y_D < 0$ ) розпилювальної головки, обертаються за годинниковою стрілкою, а краплини, що розташовані на більшій відстані від осі ( $y_D > 0$ ) обертається проти годинникової стрілки. Відбувається ефект Магнуса, що веде до збільшення поперечного перетину факелу розпилення.

Дослідимо нелінійну динаміку процесу змішування повітряно-рідинної суміші жиророзчинних вітамінів з сипким концентрованим кормом. Камера змішування сипких концентрованих кормів з жиророзчинними вітамінами - це вертикально розташований порожнистий циліндр діаметром  $d_0$ . Зверху, вздовж утворюючих циліндра, рухається кільцевий шар товщиною  $h_s$  сипких концентрованих кормів, псевдорозріджених віброрешітним дозатором (рис. 4).

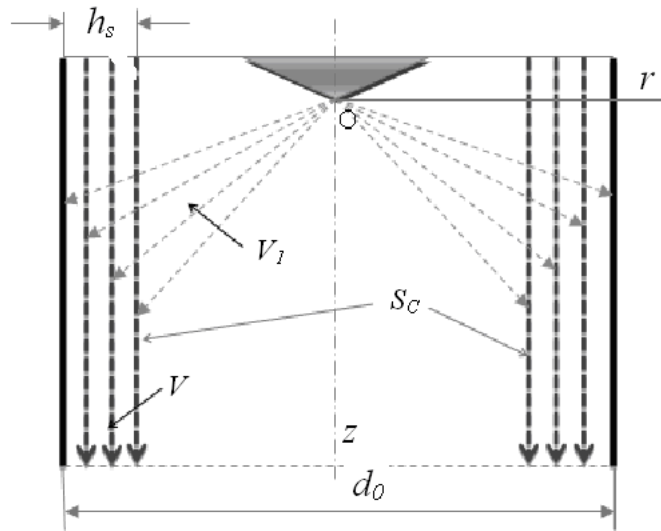


Рис.4. Схема процесу змішування сипких концентрованих кормів з жиророзчинними вітамінами

По центру камери встановлена пневматична розпилювальна головка, з отвору  $O$ , якої рухається потік дрібнодисперсних краплин жиророзчинних вітамінів, утворюючи струмінь  $V_1$ , що проникає в псевдорозріджений шар сипких концентрованих кормів  $V$ .

Дрібнодисперсні краплини струменю розпилення представимо як потік частинок, що не взаємодіють між собою і зазнають дію сили тяжіння і опору навколишнього повітря у вигляді сил Стокса і Магнуса.

Векторні рівняння нелінійної динаміки краплин струменю запишемо у наступному вигляді:

$$m \frac{d\vec{V}}{dt} = -3\pi\mu_g d_d \vec{V} + \frac{\pi}{8} d_d^3 \rho_g (\vec{\omega} \times \vec{V}), \quad (13)$$

$$I \frac{d\vec{\omega}}{dt} = -\pi\mu_g d_d^3 \vec{\omega}. \quad (14)$$

Введемо позначення  $R, Z$  - координати центру мас краплини жиророзчинних вітамінів в циліндричній системі координат  $(r, \theta, z)$ .

Рух краплин жиророзчинних вітамінів у струмені розпилення має осьову симетрію. Тоді рівняння (13) і (14) у проекціях на осі координат  $rOz$  перетворимо в співвідношення, що представляють собою систему диференціальних рівнянь відносно невідомих  $R, Z, V_r, V_z, \omega$ :

$$\begin{aligned} \frac{dR}{dt} &= V_r; & \frac{dZ}{dt} &= V_z; & \frac{dV_r}{dt} &= -18C_M V_r + K_M \omega V_z; \\ \frac{dV_z}{dt} &= -18C_M V_z - K_M \omega V_r + g; & \frac{d\omega}{dt} &= -60C_M \omega. \end{aligned} \quad (15)$$

Початковими умовами розв'язку (15) будуть наступні вирази:

$$\begin{aligned} V_r(0) &= V_c \left[ 1 - \left( \frac{2y_D}{s} \right)^2 \right] \cos\left(\frac{\beta}{2}\right); & V_z(0) &= V_c \left[ 1 - \left( \frac{2y_D}{s} \right)^2 \right] \sin\left(\frac{\beta}{2}\right); \\ \omega(0) &= \frac{6}{d_5^2} \sin^2\left(\frac{\beta}{2}\right) V_c y_D, \end{aligned}$$

де

$$V_c = V_6^0 \frac{3d_5^2 l_c^2}{4s \left[ 3d_5 l_c^2 + 6 \cos\left(\frac{\beta}{2}\right) l_c^3 - s^2 d_5 + 2s^2 l_c \cos\left(\frac{\beta}{2}\right) \right]},$$

$V_6^0$  - швидкість повітряно-рідинної суміші на вході в кільцевий щілинний отвір  $V_6$  розпилювальної головки (рис.2, а).

Задачу (15) розв'язували для краплин жиророзчинних вітамінів до моменту попадання їх на поверхню шару сипкого концентрованого корму ( $r = d_0/2 - h_s$ ). При цьому визначали траєкторії і швидкості краплин при досягненні поверхні  $S_c$ . Розв'язок системи (15) наведено у вигляді траєкторій краплин жиророзчинних вітамінів при їх русі від розпилювальної головки до поверхні  $S_c$  сипкого концентрованого корму (рис. 5, а) та розподілу їх швидкостей при її досягненні (рис. 5, б).

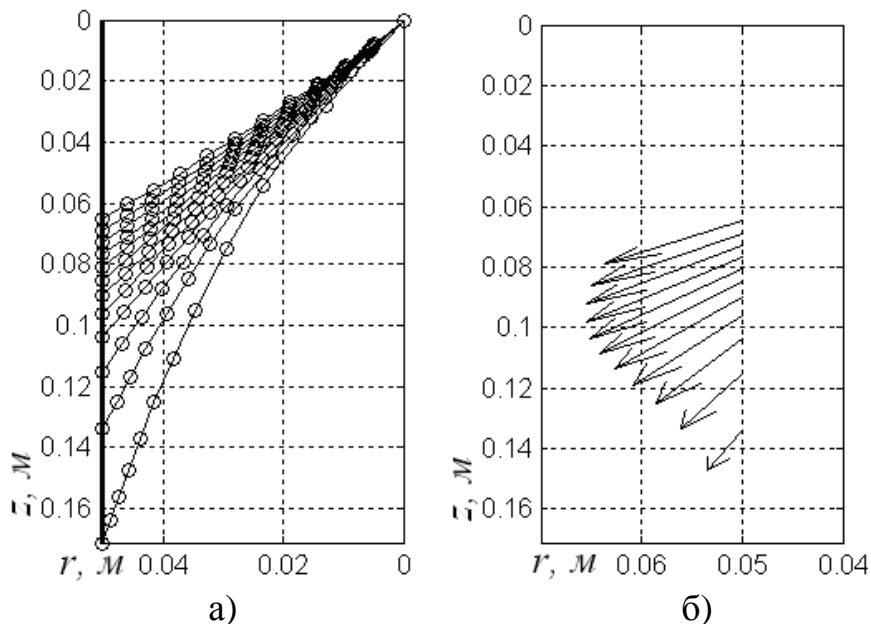


Рис. 5. Траєкторії (а) та план швидкостей (б) руху краплин струменя розпилення жиророзчинних вітамінів

Після визначення координат і швидкостей краплин жиророзчинних вітамінів при досягненні ними поверхні  $S_c$  досліджували динаміку сипкого псевдорозрідженого концентрованого корму в області  $V$  (рис. 4). Це дало можливість розглядати його як

суцільне двофазне середовище частинок, що не взаємодіють між собою. При цьому на частинки сипкого концентрованого корму діють сила тяжіння і сила Стокса. На початку руху має місце нерівність нулю головного вектора цих сил і частинки рухаються із прискоренням згідно другого закону Ньютона:

$$m \frac{d\vec{V}}{dt} = \vec{G} + \vec{F}_C. \quad (16)$$

Рух частинок сипкого концентрованого корму відбувається в напрямі осі  $Oz$ . Тоді проекція векторного рівняння (16) на цю ось буде:

$$\frac{dV}{dt} + \frac{V}{\tau_s} = g, \quad (17)$$

де  $\tau_s$  - час релаксації руху частинки,  $\tau_s = \frac{\rho_s^0 d_s^2}{18\mu_g}$ ;  $\rho_s^0$  - «дійсна» щільність частинки.

На рис. 6 наведені швидкості падіння частинок сипкого концентрованого корму (рис.6, а), його щільності  $\rho_{ш}$  (рис. 6, б) в змішувальній камері за різних значень продуктивності  $Q_s$ , (кг/хв.) при наступних параметрах: діаметр частинок корму  $d_s = 0,002$  м; дійсна щільність частинок концентрованого корму  $\rho_s^0 = 1000$  кг/м<sup>3</sup>; динамічна в'язкість повітря  $\mu_g = 1,81 \cdot 10^{-5}$  Па·с.

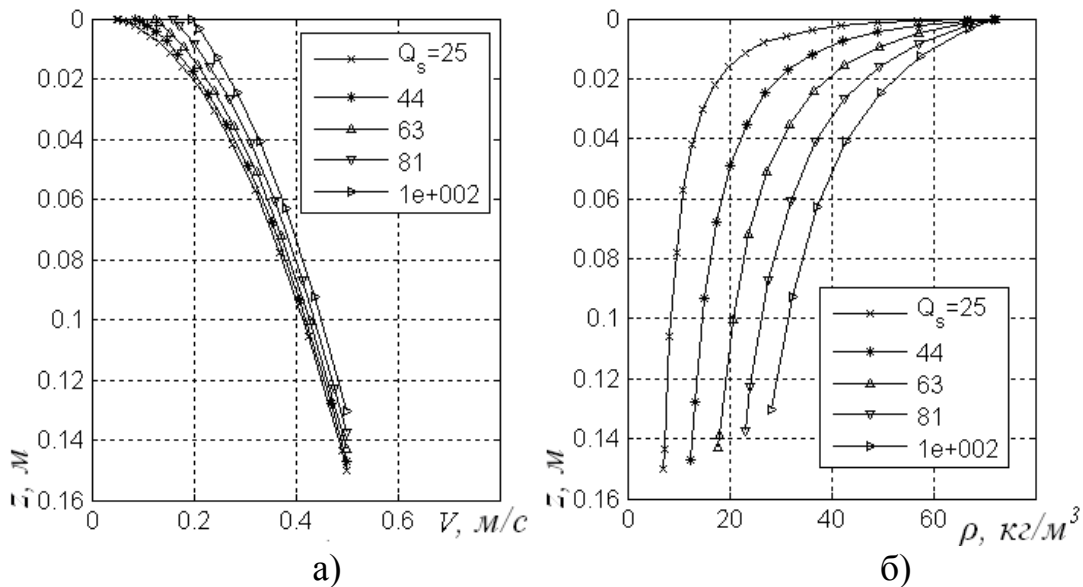


Рис. 6. Швидкості падіння частинок концентрованого корму (а) і його щільність (б) в змішувальній камері за різних значень продуктивності

Встановлено зростання швидкості падіння частинок сипкого концентрованого корму до 0,45 м/с при висоті камери змішування рівній 0,16 м, та зниження його щільності від 72 кг/м<sup>3</sup> до 35 кг/м<sup>3</sup>.

Дослідимо нелінійну динаміку краплин жиророзчинних вітамінів після їх проникнення в шар концентрованого корму через поверхню  $S_c$  (рис. 7). Позначимо координати точок падіння краплин жиророзчинних вітамінів на поверхню  $S_0$  через  $r_k = d_0 / 2 - h_s$ ;  $z_k$  і їх швидкості як  $V_{rk}^0$ ;  $V_{zk}^0$ .

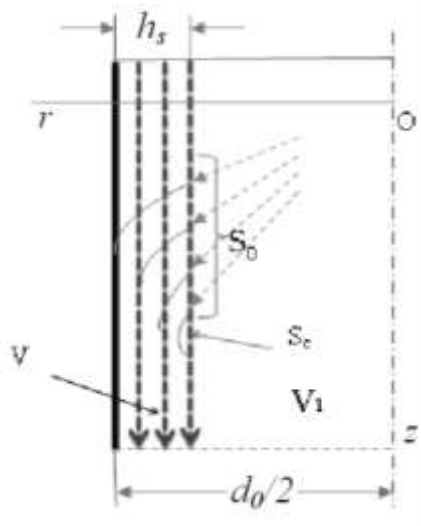


Рис. 7. До дослідження динаміки краплин жиророзчинних вітамінів у шарі сипкого псевдорозрідженого концентрованого корму

На краплину жиророзчинних вітамінів, що рухається, діють сили тяжіння  $\vec{G}_d$  і в'язкого опору  $\vec{F}_{dC}$ :

$$\vec{G}_d = m_d \vec{g} = \vec{g} \rho_d \pi d_d^3 / 6,$$

$$\vec{F}_{dC} = -3\pi \mu_s d_d (\vec{V}_d - \vec{V}_s),$$

де  $\rho_d, \vec{V}_d$  - щільність, швидкість краплин жиророзчинних вітамінів;  $\mu_s, \vec{V}_s$  - динамічна в'язкість і швидкість шару концентрованого корму. Тоді рівняння руху краплини жиророзчинних вітамінів у шарі концентрованого корму набуває вигляду:

$$\frac{d\vec{V}_d}{dt} = \vec{g} - \frac{\vec{V}_d - \vec{V}_s}{\tau_d}, \quad (18)$$

де

$$\tau_d = \frac{\rho_d d_d^2}{18\mu_s},$$

або в проекціях на осі координат  $Or, Oz$ , після зведення до системи диференціальних рівнянь відносно невідомих координат  $R, Z$  і проекцій швидкості:

$$\frac{dR}{dt} = V_r; \quad \frac{dZ}{dt} = V_z; \quad \frac{dV_r}{dt} = \frac{V_r}{\tau_d}; \quad \frac{dV_z}{dt} = g - \frac{V_z - V_s}{\tau_d}, \quad (19)$$

за початкових умов:  $R(0) = r_k \equiv d_0/2 - h_s$ ;  $Z(0) = z_k$ ;  $V_r(0) = V_{rk}^0$ ;  $V_z(0) = V_{zk}^0$ .

Числовий розв'язок (19), наведено на рис. 8 у вигляді траєкторій руху краплин вітамінів всередині шару концентрованих кормів при заданих значеннях витрат повітря, вітамінів і кормів. Для кожного випадку визначена ефективність процесу змішування  $\eta$ , яка визначається відношенням кількості жиророзчинних вітамінів, що розподіляється в шарі кормів, до кількості, яка розпилюється розпилювачем.

При малих значеннях витрат повітря  $Q_{нов} = 1$  кг/год. (рис. 8, а), краплини вітамінів не досягають поверхні шару кормів і рівномірність змішування  $\eta = 0\%$ .

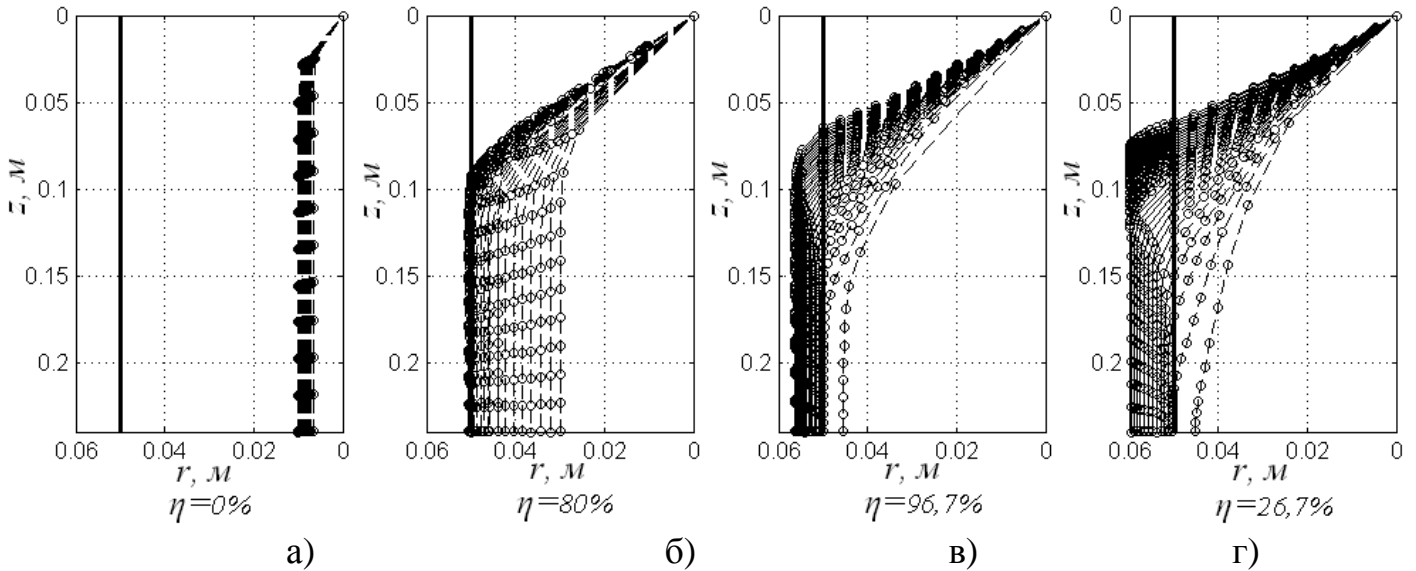


Рис. 8. Траєкторії руху краплин жиророзчинних вітамінів у псевдорозрідженому шарі концентрованих кормів за витрат повітря: а)  $Q_{нов}=1$  кг/год.,  $\eta=0\%$ ; б)  $Q_{нов}=3$  кг/год.,  $\eta=80\%$ ; в)  $Q_{нов}=5$  кг/год.,  $\eta=96,7\%$ ; г)  $Q_{нов}=7$  кг/год.,  $\eta=26,7\%$ ; при  $Q_{рід}=1$  кг/год.;  $Q_s=1000$  кг/год.

При збільшенні витрат повітря до  $Q_{нов}=5$  кг/год. (рис. 8, в) настає момент рівномірного розподілення краплин жиророзчинних вітамінів у шарі кормів і рівномірність змішування досягає  $\eta=96,7\%$ . При більш значному збільшенні витрат повітря  $Q_{нов}=7$  кг/год. (рис. 8, г), краплини жиророзчинних вітамінів пронизують шар кормів і попадають на стінки камери змішування, рівномірність змішування знижується до  $\eta=26,7\%$ .

Для оперативного визначення параметрів витрат повітря і рідинних вітамінів, які забезпечать сприятливі умови їх змішування, побудовані лінії рівнів рівномірності змішування  $\eta(Q_{нов}, Q_{рід})$ .

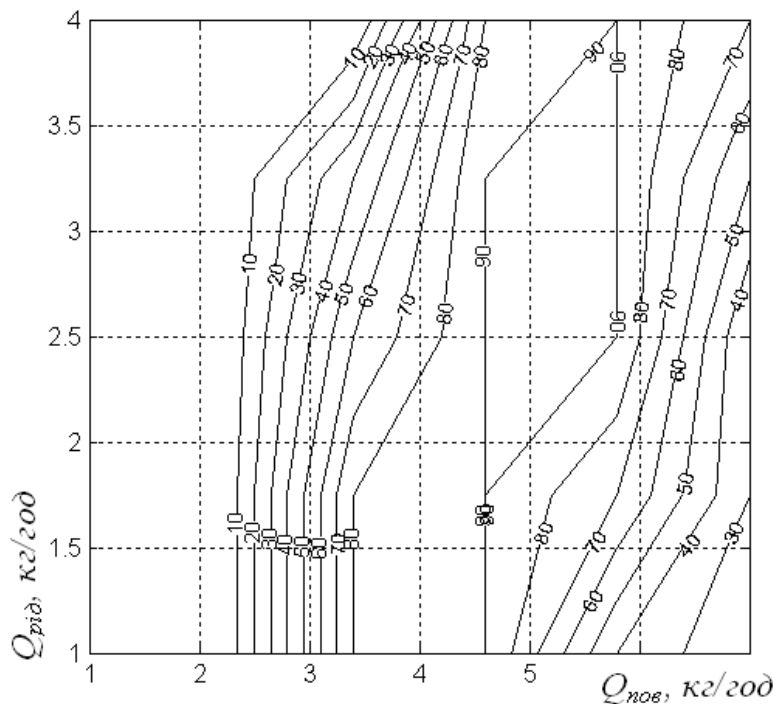


Рис. 9. Лінії рівнів ефективності процесу змішування  $\eta(Q_{нов}, Q_{рід})$ .

Найбільш сприятливі значення ефективності процесу змішування (рис. 9) знаходяться в області витрат повітря  $4,6 \leq Q_{пов} \leq 5,8$  кг/год.; витрат жиророзчинних вітамінів  $1,8 \leq Q_{від} \leq 4$  кг/год. при продуктивності змішувача  $Q_s = 1000$  кг/год.

У третьому розділі наведено програму та методику проведення експериментальних досліджень, якими передбачено: аналіз науково-технічної інформації, вибір факторів і їх відсіювання, визначення механіко-технологічних властивостей змішуваних компонентів, проведення пошукових дослідів для визначення інтервалів і рівнів варіювання факторів, дослідження впливу конструктивно-технологічних параметрів на процес змішування, оптимізація процесу змішування і визначення його якісних показників.

Визначення динамічної в'язкості жиророзчинних вітамінів виконували методом Стокса, а визначення вмісту вітамінів, які потрапили в концентровані корми, виконували апаратом Сокслета. Розміри краплинок аерозолу жиророзчинних вітамінів визначали оптичним методом, який оснований на реєстрації розсіяного потоком частинок лазерного зондування випромінювання. Суть методу полягає в пропусканні когерентного (лазерного) пучка світла через контрольоване дисперсне середовище.

Якість процесу змішування концентрованих кормів з жиророзчинними вітамінами (рівномірність змішування) визначали в наступній послідовності:

$$m_{cp} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n m_i ; \quad \chi = |m_3 - m_{cp}| ; \quad \eta = \frac{m_3 - \chi}{m_3} \cdot 100\%, \quad (20)$$

де  $m_i$  - маса вітамінів в  $i$ -тій пробі, г;  $m_3$  - заданий вміст вітамінів в суміші, г;  $\chi$  - відхилення середньої величини  $m_{cp}$  вмісту вітамінів від заданої їх величини  $m_3$ , г.

Експериментальні дослідження процесу змішування концентрованих кормів з жиророзчинними вітамінами гравітаційним змішувачем проведені на установці, конструктивна схема якої наведена на рис. 10.

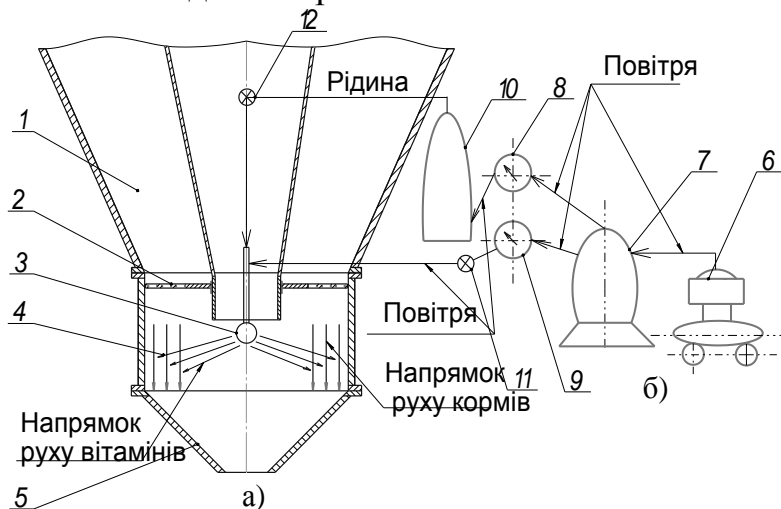


Рис. 10. Схема експериментальної установки для дослідження процесу змішування концентрованих кормів з жиророзчинними вітамінами: а) змішувач; б) система управління повітряно-рідинною сумішшю в розпилювачі; 1 – бункер концентрованих кормів; 2 – дозатор віброрешітний; 3 – головка розпилювача; 4 – камера змішувальна; 5 – конус вивантажувальний; 6 – компресор; 7 – ресивер стиснутого повітря; 8, 9 – редуктори регулювання тиску рідини і повітря; 10 – ємкість для рідини; 11, 12 – клапани електромагнітні



У четвертому розділі наведено результати експериментальних досліджень та їх аналіз. Дослідженнями закономірностей руху краплин аерозолі жиророзчинних вітамінів у псевдорозрідженому шарі концентрованих кормів встановлено, що ефективність процесу змішування залежить від щільності псевдорозрідженого шару концентрованих кормів, його товщини та тиску рідинних вітамінів у розпилювачі.

Експериментальними дослідженнями визначені: значення динамічної в'язкості жиророзчинного вітаміну Е  $\mu=(79,48\dots79,52)10^{-3}$  Па·с; середній діаметр краплин аерозолі жиророзчинних вітамінів -  $d_d=200\dots250$  мкм; щільність жиророзчинних вітамінів -  $\rho_f=980\dots1020$  кг/м<sup>3</sup>.

Одержані значення механіко-технологічних властивостей концентрованих кормів: об'ємна щільність висівків пшеничних  $\rho_p=450\dots460$  кг/м<sup>3</sup>; дерті ячмінної  $\rho_d=575\dots585$  кг/м<sup>3</sup>; коефіцієнт тертя по металу  $f_3=0,4\dots0,5$ ; коефіцієнт внутрішнього тертя  $f_e=0,7\dots0,86$ ; середній діаметр частинок концентрованих кормів  $d_s=0,8\dots2,2$  мм.

Порівнянням результатів теоретичних і експериментальних залежностей ефективності процесу змішування від витрат повітря  $Q_{нов}$  через розпилювач (рис. 11) адекватність математичної моделі нелінійної динаміки краплин жиророзчинних вітамінів після їх проникнення в шар концентрованого корму підтверджена з довірчою ймовірністю 95%, оскільки експериментальний критерій Фішера менше табличного ( $K_{\Phi e}=2,0673 < K_{\Phi m}=2,1284$ ).

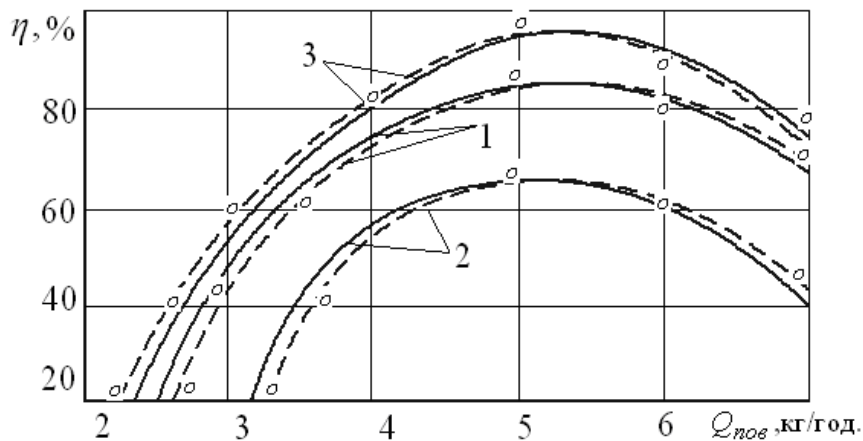


Рис. 11. Залежності ефективності процесу змішування від витрат повітря через розпилювач, при: 1 -  $Q_{pid}=1,5$  кг/год.; 2 -  $Q_{pid}=2,5$  кг/год.; 3 -  $Q_{pid}=3,5$  кг/год.; (-----) експериментальна; (—) теоретична

Проведеним аналізом одержаних результатів (рис. 11) встановлено, що збільшення витрат повітря через розпилювач від 2 кг/год. до 5 кг/год. зумовлює підвищення ефективності змішування від 20% до 96%. Подальше зростання витрат повітря від 5 кг/год. до 7 кг/год. зумовлює зниження ефективності змішування від 96% до 40%. Це пояснюється тим, що малі витрати повітря не створюють належної швидкості краплин вітамінів, необхідної для їх проникнення в шар концентрованих кормів на задану глибину. При перевищенні оптимального значення витрат повітря краплини пронизують шар концентрованих кормів і потрапляють на стінки змішувача.



Застосуванням методики планування факторного експерименту одержано рівняння регресії (у розкодованому вигляді):

$$Y=96,9111-2,7583x_1-0,4375x_2+0,5958x_3+3,1583x_{12}+0,325x_{13}+3,1x_{23}-4,9514x_1^2-4,1826x_2^2-4,0243x_3^2, \quad (21)$$

де  $x_1$ - щільність потоку псевдорозріджених концентрованих кормів;  $x_2$  - тиск жиророзчинних вітамінів;  $x_3$  - товщина шару кормів у камері змішування.

Перевірка рівняння регресії за допомогою критерію Фішера підтвердила адекватність моделі з 95% вірогідністю, оскільки  $F_{розр}=0,82 < F_{табл}=2,12$ .

В результаті канонічного перетворення рівняння регресії до стандартного виду із залученням пакета програми «Matlab» побудовані поверхні відгуків і їх двомірні перетини при:  $x_1=0$ , рис.12а;  $x_2=0$ , рис. 12б;  $x_3=0$ , рис.12в.

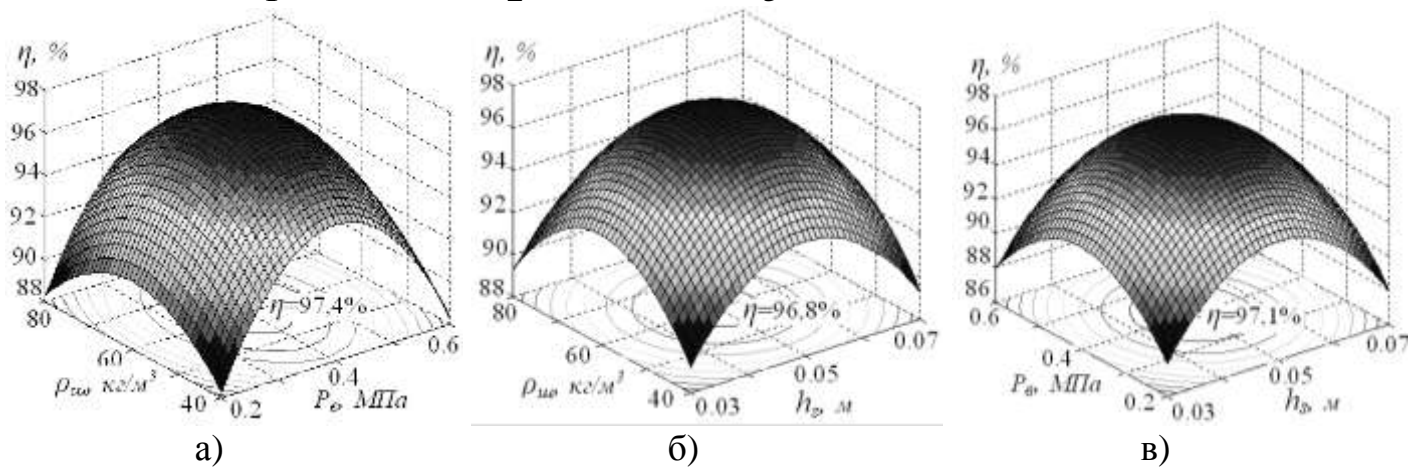


Рис. 12. Залежності ефективності процесу змішування від: а) об'ємної щільності корму і тиску вітамінів у розпилювачі; б) об'ємної щільності і товщини шару корму; в) тиску вітамінів і товщини шару корму

Встановлені оптимальні технологічні характеристики змішувача: щільність шару псевдорозрідженого потоку концентрованих кормів  $\rho_{ш}=59,7$  кг/м<sup>3</sup>; тиск жиророзчинних вітамінів у розпилювачі  $P_в=0,52$  МПа; товщина шару концентрованих кормів  $h_с=0,04$  м, при ефективності змішування  $\eta=97,4\%$ .

**У п'ятому розділі** наведено результати виробничих випробувань розробленого гравітаційного змішувача. Виробничі випробування проведені в умовах ПСП «Нива» Коропського району Чернігівської області при змішуванні концентрованих кормів з жиророзчинним вітаміном Е для свиноферми з маточним поголів'ям 100 свиноматок.

Встановлено, що рівномірність змішування ( $\eta=97\%$ ), яка характеризує ефективність процесу, відповідає зоотехнічним вимогам. Питомі енергоємність і металомісткість процесу змішування знижені з 3,34 кВт год./т до 0,56 кВт год./т (у 6 разів); з 332,2 кг/(кг/год.) до 51,1 кг/(кг/год.) (у 7 разів) відповідно, а експлуатаційні витрати з 81,86 грн./т до 25,9 грн./т (у 3,2 рази) у порівнянні із серійним змішувачем. Річний економічний ефект від використання розробленого гравітаційного змішувача на свинофермі з поголів'ям 100 свиноматок у порівнянні з серійним змішувачем складає: від зниження експлуатаційних витрат – більше 12 тис. грн.; за рахунок збільшення приплоду свиноматок і добових приростів свиней на відгодівлі - більше 143 тис. грн.

## ВИСНОВКИ

У дисертації наведено теоретичне узагальнення і нове вирішення наукового завдання, що виявляється в створеному математичному моделюванні процесу змішування концентрованих кормів з жиророзчинними вітамінами як процесу нелінійної динаміки псевдорозрідженого шару концентрованих кормів із спрямованим потоком дрібнодисперсних краплин жиророзчинних вітамінів. Це дозволило підвищити ефективність процесу змішування концентрованих кормів з жиророзчинними вітамінами, знизити експлуатаційні витрати, енергоємність і металомісткість процесу і підвищити продуктивність тварин.

Головними підсумками виконаної роботи є наступні результати:

1. Проведеним аналізом результатів відомих досліджень встановлено, що існуючі конструкції змішувачів сипких матеріалів з малими кількостями рідини задовольняють постійно зростаючі вимоги виробництва не в повній мірі. Сучасні конструкції змішувачів не забезпечують ефективність процесу змішування у відповідності до зоотехнічних вимог, мають високі енергоємність та металомісткість. Для інтенсифікації процесу змішування концентрованих кормів з жиророзчинними вітамінами обґрунтована і розроблена нова конструкція гравітаційного змішувача, у якому за рахунок збільшення поверхонь міжфазового контакту сипкого матеріалу і рідини забезпечується необхідна ефективність. Для визначення конструктивних параметрів розробленого гравітаційного змішувача необхідно виконати теоретичні і експериментальні дослідження, які б дозволили керувати і розраховувати технологічні показники процесу змішування.

2. Для встановлення закономірностей процесу розпилення жиророзчинних вітамінів пневматичним розпилювачем створено математичну модель нелінійної динаміки струменю рідини після вилітання із розпилювальної головки, розв'язком якої встановлено зниження швидкостей краплин від 6 м/с до 0 м/с при зростанні координати  $Z$  від 0 до 0,06 м. Одержані траєкторії та план швидкостей руху краплин.

3 Для розрахунку і керування щільністю псевдорозрідженого сипкого концентрованого корму створена математична модель нелінійної динаміки потоку в камері змішування. Встановлено зростання швидкості падіння частинок сипкого концентрованого корму до 0,45 м/с при висоті камери змішування рівній 0,16 м, та зниження його щільності від 72 кг/м<sup>3</sup> до 25 кг/м<sup>3</sup>.

4. Математичним моделюванням нелінійної динаміки двофазного шару сипких концентрованих кормів, направленою струменю дрібнодисперсних краплин жиророзчинних вітамінів до розрідженого шару кормів і в середині нього встановлено, що при малих значеннях витрат повітря  $Q_{нов}=1$  кг/год. краплини вітамінів не досягають поверхні шару кормів, рівномірність змішування  $\eta=0\%$ . При збільшенні витрат повітря до  $Q_{нов}=5$  кг/год. настає момент рівномірного розподілення краплин вітамінів у шарі кормів, коли рівномірність змішування досягає  $\eta=96,7\%$ . При більш значному збільшенні витрат повітря  $Q_{нов}=7$  кг/год. краплини вітамінів пронизують шар кормів і рівномірність змішування знижується до  $\eta=26,7\%$ .

5. Експериментально визначені механіко-технологічні властивості кормів і жиророзчинних вітамінів: щільність висівок пшеничних  $\rho_g=450\dots460$  кг/м<sup>3</sup>, дерті ячмінної  $\rho_d=575\dots585$  кг/м<sup>3</sup>; коефіцієнти зовнішнього і внутрішнього тертя відповідно

$f_3=0,4\dots0,5$ ,  $f_6=0,7\dots0,86$ ; середній діаметр частинок кормів -  $d_s=0,8\dots2,2$  мм; щільність вітаміну Е -  $\rho_f^0=960\dots985$  кг/м<sup>3</sup>; його динамічна в'язкість -  $\mu=(79,3\dots79,9) 10^{-3}$  Па·с; середній діаметр краплин аерозолі -  $d_d=200\dots220$  мкм.

6. Комплексним аналізом результатів теоретичних і експериментальних досліджень, проведеного факторного експерименту визначені взаємозв'язки основних технологічних параметрів гравітаційного змішувача і режимів його роботи в вигляді рівняння регресії. Оптимальні значення технологічних факторів, при яких досягається максимальна ефективність змішування  $\eta=97,4\%$ : щільність потоку концентрованих кормів  $\rho_{ш}=59,7$  кг/м<sup>3</sup>; тиск вітамінів у розпилювачі  $P_g=0,52$  МПа; товщина шару кормів у камері змішування  $h_s=0,04$  м.

7. Виробничими випробуваннями розробленого гравітаційного змішувача концентрованих кормів з жиророзчинними вітамінами в умовах ПСП «Нива» Коропського району Чернігівської області на свинофермі з поголів'ям 100 свиноматок встановлено, що рівномірність змішування ( $\eta=97\%$ ), яка характеризує ефективність процесу, відповідає зоотехнічним вимогам. Питомі енергоємність і металомісткість процесу змішування знижені з 3,34 кВт год./т до 0,56 кВт год./т (у 6 разів); з 332,2 кг/(кг/год.) до 51,1 кг/(кг/год.) (у 7 разів) відповідно, а експлуатаційні витрати з 81,86 грн./т до 25,9 грн./т (у 3,2 рази). Річний економічний ефект від використання розробленого гравітаційного змішувача в порівнянні з серійним складає: від зниження експлуатаційних витрат – більше 12 тис. грн.; за рахунок збільшення приплоду свиноматок на 25% і добових приростів свиней на відгодівлі на 12% - більше 143 тис. грн.

## **СПИСОК ОСНОВНИХ ОПУБЛІКОВАНИХ ПРАЦЬ ЗА ТЕМОЮ ДИСЕРТАЦІЇ**

### *Статті у наукових фахових виданнях*

1. Славкова Л. Г. Інтенсифікація процесу збагачення комбикормів жиророзчинними вітамінами / Л. Г. Славкова, О. А. Науменко, І. Г. Бойко // Сучасні проблеми вдосконалення технічних систем і технологій тваринництва: Вісник ХНТУСГ ім. Петра Василенка. - Харків: ХНТУСГ ім. Петра Василенка, 2011. - Вип.108. - С. 98-103 (Здобувачем визначені напрямки інтенсифікації процесів змішування сипких матеріалів з малими кількостями рідини).

2. Славкова Л. Г. Математичне моделювання руху потоку газу в пневматичному розпилювачі рідини / Л. Г. Славкова // Науковий вісник ЛНАУ. Серія: Технічні науки. - Луганськ: Видавництво ЛНАУ, 2011. - №30. - С. 266-271.

3. Славкова Л. Г. Математическое моделирование процесса распада струи жидкости в распылителе / Л. Г. Славкова // Сучасні напрямки технології та механізації процесів переробних і харчових виробництв: Вісник ХНТУСГ ім. Петра Василенка. - Харків: ХНТУСГ ім. Петра Василенка, 2011. - Вип.119. - С. 108-125.

4. Славкова Л. Г. Теоретичні дослідження режимних параметрів потоку рідини в розпилювачі / Л. Г. Славкова // Агроінженерні дослідження: Вісник Львівського НАУ. - Львів: НВФ Українські технології, 2011. - №15. - С. 228-235.

5. Славкова Л. Г. Математичне моделювання процесу змішування концентрованих кормів з жиророзчинними вітамінами / Л. Г. Славкова // Технічний сервіс машин для рослинництва: Вісник ХНТУСГ ім. Петра Василенка. - Харків: ХНТУСГ ім. Петра Василенка, 2012. - Вип. 121. - С. 218-226.

6. Славкова Л. Г. Теоретичне визначення параметрів факелу розпилення пневматичною форсункою / Л. Г. Славкова, О. А. Науменко // Технічні системи і технології тваринництва: Вісник ХНТУСГ ім. Петра Василенка. - Харків: ХНТУСГ ім. Петра Василенка, 2012. - Вип. 120. - С. 152-157 (Здобувачем розв'язана теоретична задача з визначення параметрів факелу розпилення пневматичною форсункою).

7. Славкова Л. Г. Методика та результати досліджень в'язкості жиророзчинних вітамінів / Л. Г. Славкова, О. А. Науменко // Техніко-економічні аспекти розвитку та випробування нової техніки і технологій для сільського господарства України: Збірник наукових праць УкрНДПВТ ім. Л. Погорілого. - Дослідницьке: УкрНДПВТ ім. Л. Погорілого, 2012. Вип. - 16 (30). - С. 324 - 331 (Здобувачем проведені експериментальні дослідження і обробка експериментальних даних).

8. Бойко И. Г. Расчет плотности сыпучего материала в камере смешивания гравитационного смесителя / И. Г. Бойко, А. М. Русалев, Л. Г. Славкова // Технічні системи і технології тваринництва: Вісник ХНТУСГ ім. Петра Василенка. - Харків: ХНТУСГ ім. Петра Василенка, 2013. - Вип. 132. - С. 3-7 (Здобувачем виконаний розрахунок щільності сипкого матеріалу в камері змішування).

### *Патенти*

9. Пат. 62039 Україна, МПК А01М 11/00, В05В 17/00. Пневматичний розпилювач рідини / Славкова Л. Г., Науменко О. А., Бойко І. Г.; заявник та власник ХНТУСГ ім. Петра Василенка. №u201100547; заявл. 18.01.2011; опубл.10.08.2011, Бюл. №15/2011.

10. Пат. 62581 Україна, МПК А21С 1/00, В01F 13/08. Спосіб змішування сипучих матеріалів з малими кількостями рідини / Славкова Л. Г., Науменко О. А., Бойко І. Г.; заявник та власник ХНТУСГ ім. Петра Василенка. №u201013146; заявл. 05.11.2010; опубл.12.09.2011, Бюл. №17/2011.

11. Пат. 66522 Україна, МПК А21С 1/06, А21D 13/08, В01F 5/16. Змішувач сипучих матеріалів з малими кількостями рідини / Славкова Л. Г., Нанка О. В., Науменко О. А., Бойко І. Г.; заявник та власник ХНТУСГ ім. Петра Василенка. №u201106992; заявл. 03.06.2011; опубл.10.01.2012, Бюл. №1/2012.

### *Матеріали і тези конференцій*

12. Славкова Л. Г. Проблеми змішування сипучих матеріалів з малими кількостями рідини і напрямки їх вирішення / Л. Г. Славкова, О. А. Науменко, І. Г. Бойко // Технічний прогрес в АПК: Матеріали міжнародної науково-практичної конференції ХНТУСГ ім. Петра Василенка. - Харків: ХНТУСГ ім. Петра Василенка, 2010. - Вип.103. - С. 181-186.

13. Славкова Л. Г. Технологія збагачення комбикормів жиророзчинними вітамінами та пристрій для її реалізації / Л.Г. Славкова, О. А. Науменко, І. Г. Бойко // Сучасні технології виробництва та переробки продукції тваринництва і забезпечення її якості: Матеріали міжнародної науково-практичної конференції БНАУ. - Біла Церква: БНАУ, 2012. - Вип. 7. - С. 44-46.

14. Славкова Л. Г. Новый способ обогащения комбикормов жирорастворимыми витаминами / Л. Г. Славкова, О. А. Науменко // Современные проблемы освоения новой техники, технологий, организация технического сервиса в АПК: Сборник научных трудов республиканской научно-практической конференции «Белагро-2011». - Минск: ГИВЦ Минсельхозпрома, 2012. - С. 113-116.

15. Славкова Л. Г. Математическое моделирование процесса смешивания концентрированных кормов с жирорастворимыми витаминами / Л. Г. Славкова, О.А. Науменко // Современные проблемы инновационного развития агроинженерии: Сборник научных трудов международной научно-производственной конференции Белгородской ГСА. - Белгород: БГСА им. В.Я. Горина, 2012. - С. 105-110.

### АНОТАЦІЇ

Славкова Л. Г. Обґрунтування параметрів процесу і розробка гравітаційного змішувача концентрованих кормів з жиророзчинними вітамінами. - Рукопис.

Дисертація на здобуття вченого ступеня кандидата технічних наук за фахом 05.05.11 - машини і засоби механізації сільськогосподарського виробництва. - Харківський національний технічний університет сільського господарства ім. Петра Василенка. Харків, 2014.

У дисертації вирішено наукове завдання, яке направлене на підвищення ефективності процесу змішування концентрованих кормів з жиророзчинними вітамінами, шляхом обґрунтування параметрів процесу та розробки нового гравітаційного змішувача.

Створені математичні моделі процесу нелінійної динаміки струменя рідини і шару сипких матеріалів, який зростається краплинним потоком рідини. Одержані залежності швидкостей руху краплин, їх план швидкостей та траєкторії руху краплин рідини в псевдорозрідженому шарі сипких матеріалів. Визначені оптимальні конструктивно-технологічні параметри гравітаційного змішувача, встановлені механіко-технологічні властивості концентрованих кормів та жиророзчинних вітамінів.

Ключові слова: концентровані корми, жиророзчинні вітаміни, гравітаційний змішувач, процес змішування, ефективність.

Славкова Л. Г. Обоснование параметров процесса и разработка гравитационного смесителя концентрированных кормов с жирорастворимыми витаминами. - Рукопись.

Диссертация на соискание ученой степени кандидата технических наук по специальности 05.05.11 - машины и средства механизации сельскохозяйственного производства. - Харьковский национальный технический университет сельского хозяйства им. Петра Василенка. Харьков, 2014.

В диссертации решено научное задание, которое направлено на повышение эффективности процесса смешивания концентрированных кормов с жирорастворимыми витаминами путем обоснования параметров процесса и разработки нового гравитационного смесителя, который обеспечивает увеличение поверхностей межфазового контакта сыпучего материала и жидкости.

В результате аналитических исследований способов смешивания сыпучих материалов с малыми количествами жидкости и конструкций смесителей установлены

основные причины, которые препятствуют качественному выполнению процесса смешивания: смешиваемые компоненты находятся в разных агрегатных состояниях «твердое тело - жидкость»; попадание жидкости на рабочие органы смесителя; свойство сыпучих материалов мгновенно поглощать жидкость.

Созданы математические модели нелинейной динамики струи жидкости и слоя концентрированных кормов, который орошается капельным потоком жидкости. Получены зависимости скорости движения капель жидкости, их план скоростей от расходов и вязкости жидкости, траектории движения капель жидкости в разреженном слое сыпучих материалов, определено качество их распределения в зависимости от конструктивно-технологических параметров смесителя.

Реализацией факторного эксперимента определены оптимальные значения факторов, которые влияют на процесс смешивания.

Производственными испытаниями разработанного гравитационного смесителя при смешивании концентрированных кормов с жирорастворимыми витаминами в условиях ПСП «Нива» Коропьского района Черниговской области на свиноферме с поголовьем 100 свиноматок установлено, что эффективность процесса смешивания отвечает зоотехническим требованиям,  $\eta = 97\%$ . Удельные энергоёмкость и металлоёмкость процесса смешивания снижены с 3,34 кВт ч/т до 0,56 кВт ч/т (в 6 раз); из 332,2 кг/(кг/час до 51,1 кг/(кг/час). (в 7 раз), соответственно, а эксплуатационные расходы из 81,86 грн./т до 25,9 грн./т (в 3,2 раз). Годовой экономический эффект от использования разработанного смесителя по сравнению с серийным составил: от снижения эксплуатационных затрат – более 12 тыс. грн.; за счет увеличения привесов животных – более 143 тыс. грн.

Ключевые слова: концентрированные корма, жирорастворимые витамины, гравитационный смеситель, процесс смешивания, эффективность.

Slavkova L.G. Ground of parameters of process of enriching of the concentrated forage by fat-soluble vitamins by a gravity mixer. – Manuscript.

Dissertation on the obtaining of graduate degree of candidate of engineering sciences on speciality 05.05.11 - machines and facilities of mechanization of agricultural production.

Kharkiv national technical university of agriculture to the name of Petro Vasilenka. Kharkiv 2013.

A scientific task, which is directed on the increase of efficiency of process of enriching of the concentrated forage with fat-soluble vitamins by the ground of parameters of process and development of new gravity mixer which will provide the increase of surfaces of line-to-line contact of friable material and liquid, is decided in dissertation.

The mathematical models of process of disintegration of stream of liquid and dynamics of diphasic layer of the concentrated forage, which is irrigated by a drop stream, are created. Got dependences of rate of movement of centre-of-mass drops of liquid, their plan of speeds from charges, pressure and viscosity of liquid and trajectory of motion of drops of liquid, in the dispersed layer of friable materials and certain quality of their distributing depending on structurally technological parameters of mixer.

Optimum values of structural and technological parameters of the gravity mixer are defined.

Key words: concentrated forages, liposoluble vitamins, gravity mixer, process of mixing, efficiency.

---

Підписано до друку 22 квітня 2014 р. Формат паперу 60×84 1/16  
Умов. друк. Арк. 0,9. Папір офсетний. Наклад. 100 прим. Зам. 36  
Друк РІЗО

Копіцентр «Влавке», м. Харків, 61002, вул. Раднаркомівська, 10  
Свідоцтво про державну реєстрацію ю. о. ВОЗ №100291