

Міністерство освіти і науки України

ХАРКІВСЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ ТЕХНІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ
СІЛЬСЬКОГО ГОСПОДАРСТВА ІМЕНІ ПЕТРА ВАСИЛЕНКА

Мироненко Анатолій Прохорович

УДК 621.929.7

**ОБГРУНТУВАННЯ ПАРАМЕТРІВ ТЕХНОЛОГІЧНОГО ПРОЦЕСУ І
РОЗРОБКА ВЕРТИКАЛЬНОГО ЗМІШУВАЧА ІНГРЕДІЄНТІВ
КОМБІКОРМІВ**

05.05.11 – машини і засоби механізації
сільськогосподарського виробництва

Автореферат

дисертації на здобуття наукового ступеня
кандидата технічних наук

Харків – 2016

Дисертацією є рукопис.

Робота виконана в Харківському національному технічному університеті сільського господарства імені Петра Василенка Міністерства освіти і науки України.

Науковий керівник:

доктор технічних наук, професор Завгородній Олексій Іванович, Харківський національний технічний університет сільського господарства імені Петра Василенка, завідувач кафедри вищої математики

Офіційні опоненти:

доктор технічних наук, професор Брагінець Микола Володимирович, Луганський національний аграрний університет, в. о. ректора, професор кафедри механізації виробничих процесів у тваринництві;

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

Захист відбудеться «7» жовтня 2016 р. о ___ годині на засіданні спеціалізованої вченої ради Д 64.832.01 у Харківському національному технічному університеті сільського господарства імені Петра Василенка за адресою: 61002, Україна, м. Харків, вул. Алчевських (Артема), 44.

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

Автореферат розісланий «25» серпня 2016 р.

Вчений секретар
спеціалізованої вченої ради



О.Д. Черенков

ЗАГАЛЬНА ХАРАКТЕРИСТИКА РОБОТИ

Актуальність теми. Сучасний етап розвитку тваринництва в Україні характеризується перетвореннями, що виникли в умовах ринкових відносин і вступу до Світової Організації Торгівлі (СОТ) та вимагають від виробників нових підходів, які забезпечать конкурентоспроможність продукції за рахунок зниження її собівартості та підвищення продуктивності тварин.

Основним джерелом зростання продуктивності тварин і зниження собівартості тваринницької продукції є раціональне використання інгредієнтів комбікормів. В структурі собівартості доля комбікормів складає близько 50 %, при цьому доля комбікормів в раціонах в залежності від виду тварин і птиці складає від 15 до 100 %. Практична задача з організації повноцінного годування тварин полягає в отриманні заданих компонентів зернових сумішей, які б повністю відповідали потребам організму тварин при мінімальних витратах енергії. Але між рівнем розвитку зоотехнічної науки в галузі годування тварин та впровадження цих досягнень в механізоване виробництво є відставання. Оскільки технічні можливості змішування при співвідношенні компонентів 1:100 000 повністю не вирішені, то основним напрямком удосконалення технології збагачення комбікормів мікродомішками є підвищення якості змішування інгредієнтів.

Таким чином, для розвитку тваринницької галузі України, створення удосконаленої конструкції змішувача інгредієнтів комбікормів є актуальним і перспективним науково-прикладним завданням.

Зв'язок роботи з науковими програмами, планами, темами. Роботу виконано згідно з державними науковими програмами і тематичними планами науково-дослідних та дослідно-конструкторських робіт в ХНТУСГ ім. П. Василенка і лабораторії механізації виробництва у тваринництві Інституту тваринництва УААН: НТП 01.07 «Розробити та дослідити малоенергоємні засоби та визначити параметри підготовки та роздачі кормів на невеликих фермах згідно генетично-обумовленої продуктивності тварин» (ДР № 0101U003310; 2001 – 2005 рр.); НТП 31. 02/16 «Розробити ресурсощадні технологічні лінії та засоби механізації приготування, роздачі кормів та підготовки стоків до утилізації з одержанням поновлювальних джерел енергії» (ДР № 0108U010728; 2006 – 2010 рр.).

Мета і завдання дослідження. Метою роботи є підвищення ефективності процесу змішування інгредієнтів комбікормів шляхом розробки конструкції і обґрунтування конструктивно-технологічних параметрів змішувача.

Для досягнення поставленої мети визначені наступні завдання дослідження:

– провести аналіз існуючих конструкцій кормозмішувачів сипких матеріалів, результатів теоретичних і експериментальних досліджень процесу змішування та визначити напрямки удосконалення їх конструкцій;

– на основі проведеного аналізу запропонувати і обґрунтувати нову, потенційно більш досконалу в порівнянні з існуючими аналогами, схему

змішувача;

- формалізувати процес змішування сипких матеріалів в розробленому пристрої з урахуванням її конструктивних параметрів та механіко-технологічних властивостей інгредієнтів комбікормів та провести розрахунки з метою оптимізації технічних параметрів запропонованого змішувача;

- виготовити експериментально-дослідний зразок змішувача;

- провести експериментальні дослідження та визначити якісні показники технологічного процесу змішування, визначити оптимальні конструктивно-кінематичні параметри розробленого змішувача з урахуванням фізико-механічних властивостей інгредієнтів комбікормів;

- провести економічну оцінку ефективності використання та розробити рекомендації підвищення якості змішування інгредієнтів комбікормів.

Об'єкт дослідження. Процес змішування інгредієнтів комбікормів і його зв'язок з технологічними і конструктивними параметрами та механіко-технологічними властивостями змішуваних інгредієнтів.

Предмет дослідження – обґрунтування параметрів технологічного процесу і розробка вертикального змішувача інгредієнтів комбікормів.

Методи дослідження. Для дослідження якості змішування сипких матеріалів у пропонованому змішувачі використовуються теоретичні і експериментальні методи. Теоретичні дослідження виконані із застосуванням основних законів динаміки, фундаментальних положень механіки суцільних середовищ та сучасних методів математичного моделювання. Для розв'язання рівнянь аеродинаміки використовували чисельний метод дискретних вихорів, розв'язання рівнянь динаміки частинок суміші виконували чисельним методом Рунге-Кутти. Для експериментальних досліджень експериментально-дослідного зразка змішувача застосовували методи математичної статистики і методики планування багатofакторного експерименту. Лабораторні і виробничі випробування розробленого вертикального змішувача проведені в Інституті тваринництва НААН та приватних господарствах Харківської і Полтавської областей у відповідності з Галузевим стандартом України: «Техніка сільськогосподарська. Машина та обладнання для приготування кормів. Методи функціональних випробувань» ГСТУ 46.007 – 2000 та згідно з «Типовою методикою визначення якості змішування кормів» М 70.29 – 87.

Наукова новизна одержаних результатів. Положення, що характеризують наукову новизну дисертаційної роботи, полягають у наступному:

- вперше проведеним математичним моделюванням динаміки частинок корму у повітряних потоках встановлені закономірності розподілу швидкостей частинок в зоні камери змішування в залежності від параметрів вихрових рамок і фізико-механічних властивостей кормів;

- набула подальшого розвитку теорія руху частинок кормової суміші по поверхні витка шнека в результаті чого визначені закономірності швидкості та кута сходу частинок з витка шнека від його кінематичних параметрів;

- вперше на основі статистичної коміркової моделі розроблений метод

визначення тривалості циклу змішування для різних кінематичних режимів роботи змішувача;

– для оцінки впливу розробленого змішувача на ефективність змішування вперше виконано комплексне обґрунтування конструктивно-технологічних параметрів змішувача з урахуванням технологічних показників процесу і фізико-механічних властивостей кормів.

Практичне значення одержаних результатів. Теоретичні і експериментальні дослідження формують науково-технічну базу для моделювання роботи і створення широкого класу пристроїв сільськогосподарського призначення.

Розроблений вертикальний змішувач сипких матеріалів рекомендується для використання в фермерських сільськогосподарських підприємствах для приготування повнораціонних комбікормів.

Експериментально-дослідний зразок змішувача ВМКУ – 04, був переданий у два приватні господарства: ФОП “Колісник М. О.” с.м.т. Мала Рогань, Харківський район, Харківська область, Україна та ПАФ “ОБРІЙ” с. Руденківка, Новосанжарський район, Полтавська область, Україна для приготування збалансованих, повнораціонних комбікормів для тварин та птиці.

Використання проектного варіанту змішувача має значні переваги: зменшення енергетичних витрат (майже в 3 рази) і, як наслідок, зменшення на 13,7 % або на 6,1 тис. грн. витрат на роботу з перемішування сипучих матеріалів; підвищення рівня рентабельності до 16,5 %. Термін окупності вертикального кормозмішувача не перевищує трьох років, а річний економічний ефект становить 6,6 тис. грн. на одну малогабаритну установку.

Особистий внесок здобувача. Основні результати досліджень, що виносяться на захист, отримані автором самостійно. У наукових працях, які виконані самим автором та у співавторстві, особистий внесок полягає в наступному: [1,2] – виконано аналіз змішувачів інгредієнтів комбікормів і визначені основні напрямки їх вдосконалення; [3,4] – досліджено технологічний процес змішування інгредієнтів комбікормів та оптимальні режими роботи; [5] – запропонована нова конструкція вертикального типу змішувача з основним робочим органом у вигляді шнека та додатковими робочими органами – чотирма консольними валами з двохплощинними лопатками; [6] – визначено основні зоотехнічні показники вирощування порослят в різних піддослідних групах; [7] – проведено виробничу перевірку в приватних господарствах по визначенню однорідності (якості) змішування інгредієнтів комбікормів; [8] – обґрунтована економічна ефективність використання розробленої конструкції вертикального змішувача для приготування сипких матеріалів; [9] – отримано патент України на винахід “Змішувач інгредієнтів комбікормів № 105446”; [10] – проаналізовано результати досліджень розробленої конструкції вертикального змішувача інгредієнтів комбікормів; [11] – проведена оптимізація конструкції вертикального трьохступеневого змішувача сипких матеріалів методом математичного моделювання; [12] – розв’язана задача про розкидання частинок

зернової суміші методом математичного моделювання.

Особиста участь автора у загальному об'ємі проведеної роботи становить 90 %. Програму та методику досліджень розроблено з методичною допомогою наукового керівника.

Апробація результатів дисертації. У повному обсязі дисертаційну роботу обговорено та схвалено на науковому семінарі кафедри вищої математики ХНТУСГ ім. П. Василенка.

Результати дисертаційної роботи доповідали: на вчених радах Інституту тваринництва УААН (Харків, 2003 – 2010 рр.); на V, VII міжнародних науково-практичних конференціях (МНПК) “Проблеми технічного сервісу сільськогосподарської техніки” (ХНТУСГ ім. П. Василенка, Харків, 2006 – 2008 рр.); на IX, X, XI МНПК “Інженерно-технічне забезпечення інноваційних технологій сервісу машин” (ХНТУСГ ім. П. Василенка, Харків, 2010 – 2013 рр.); на Міжнародному науковому симпозиумі “Сучасне сільське господарство – досягнення та перспективи”, присвяченого святкуванню 80-річчя з дня створення Державного аграрного університету Молдови (Кишинів, 2013); на МНПК “Сучасні напрямки вдосконалення технічних систем і технологій у тваринництві” (ХНТУСГ ім. П. Василенка, Харків, 2014).

Публікації. Результати дисертаційної роботи опубліковано в 12 публікаціях, в тому числі в 8 наукових статтях фахових видань, що входять до переліку МОН України, 2 за кордоном, 1 тези доповідей на конференції. Одержано один деклараційний патент України на винахід. П'ять публікацій виконано самостійно.

Структура та обсяг роботи. Основний зміст дисертації викладено на 151 сторінках друкованого тексту. Вона складається зі вступу, основної частини з 5 розділів, загальних висновків, списку використаних джерел (233 найменувань, з яких 25 іноземною мовою), викладеного на 23 сторінках та додатків. Загальний обсяг роботи становить 204 сторінки і містить 37 рисунків, 22 таблиці та 10 додатків на 30 сторінках.

ОСНОВНИЙ ЗМІСТ РОБОТИ

У вступі обґрунтовані актуальність теми, викладений зв'язок роботи з науковими програмами, планами і темами, сформульована мета, завдання досліджень, викладені основні положення, що визначають наукову новизну і практичне значення отриманих результатів.

У першому розділі наведено аналіз відомих досліджень технологічного процесу змішування інгредієнтів комбікормів, конструкцій змішувачів їх робочих органів та методик оцінки якості змішування, визначені основні напрямки удосконалення обладнання для приготування сипких кормів.

Розробкою нових зразків різних конструкцій кормозмішувачів займались Макаров Ю. І., Кукта Г. М., Брагінець М. В., Ревенко І. І., Іонов І. А., Дмитрів Д. В., Бойко І. Г., Хмельовський В. С., Семенов В. І., Шацький В. В.

Методики обслуговування, монтажу кормозмішувачів та проведення досліджень описані в роботах Братерського Ф. Д., Клебана А. С., Краснокутського Ю. В., Поєдинка В. Ю., Сироватки В. І., Андрєєва П. А.,

Готовцева Б. Н., Лапшина А. А., Мельникова С. В., Погорілого Л. В.

При виробництві сипких кормосумішей в умовах господарств в більшості комбикормових установок та агрегатів використовуються порційні змішувачі з одним робочим органом – вертикальним шнеком в змішувальній камері. Аналіз показників їх технологічних процесів показав, що вони не забезпечують високу якість приготвлених сумішей: однорідність змішування складає 85,0 – 88,7 %, в той час, як цілком задовільною визнається подрібнена зерноsumіш з однорідністю змішування не менше 90 – 95 %. Такі суворі вимоги до якості змішування пов'язані у першу чергу з необхідністю однорідного розподілу мікродомішок, масова частина яких не перевищує 1 % від загальної маси суміші.

Проведеним аналізом відомих досліджень і конструкцій встановлено, що перспективним напрямком підвищення ефективності змішування інгредієнтів комбикормів є інтенсифікація процесу шляхом створення в камері змішування повітряних вихрових потоків.

Огляд результатів відомих досліджень показав, що таке рішення не реалізовано в жодній з розглянутих установок для змішування комбикормів періодичної дії. Проте схожа ідея реалізовано в бітерно-гвинтовому змішувачі неперервної дії, де основний робочий орган – шнек доповнено бітером, що сприяє ефективному розкиданню частинок суміші.

Таким чином, розробка додаткових робочих органів для розкидання частинок зернової суміші є перспективною технічною задачею, розв'язання якої може суттєво покращити якість змішування у вертикальному змішувачі періодичної дії (при цьому) та зменшити час змішування.

Огляд відомих методів математичного моделювання процесу змішування показав, що існуючі методи не дозволяють адекватно моделювати інтенсивне перемішування частинок суміші при їх розкиданні у завихрених повітряних потоках. Саме тому розробка і вдосконалення відповідних математичних моделей і методів також є актуальною науковою задачею.

У другому розділі запропонована і обґрунтована конструктивна схема нового змішувача. Також запропонована математична модель, яка дозволяє описувати динаміку розкидання частинок зернової суміші у верхній частині змішувача.

На основі аналізу існуючих типів змішувачів було вирішено проектувати змішувач з нерухомим корпусом та рухомим основним вертикально розташованим робочим органом. В якості основного робочого органу використано шнек, який забезпечує переважно вертикальний рух частинок суміші. При проектуванні корпусу використовувати конічні елементи. Відзначимо, що конічний корпус забезпечує додаткове змішування частинок з різних горизонтальних шарів суміші при їх русі донизу під дією сили тяжіння. Також вирішено оснастити змішувач додатковими робочими органами – чотирма консольними валами з двохплощинними лопатками. Такі лопатки мають забезпечувати додаткове перемішування зернових частинок у той час, коли шнек розкидає їх над поверхнею суміші. Наявність цих додаткових

органів найбільш суттєво відрізняє схему змішувача, що пропонується, від існуючих аналогів.

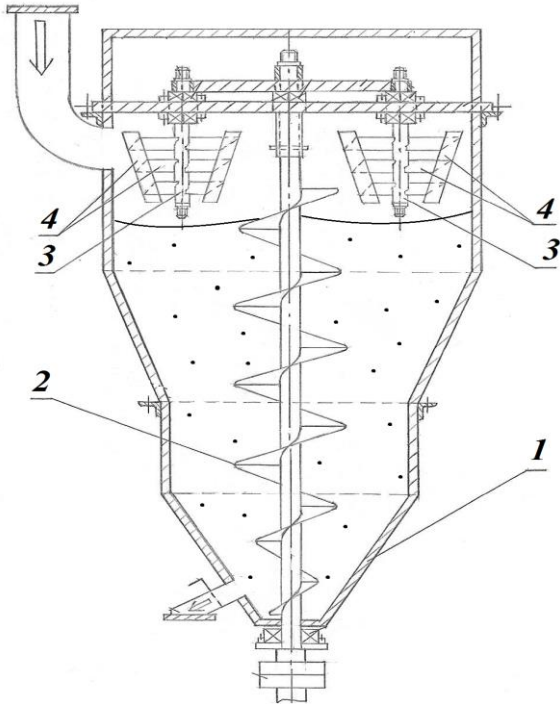


Рис. 1. Конструктивна схема змішувача інгредієнтів комбікормів: 1 – корпус; 2 – шнек; 3 – консольні вали; 4 – двохплощинні лопатки.

Наведені конструктивні особливості закладені в розробку принципової схеми змішувача інгредієнтів комбікормів, що зображена на рис. 1.

Для визначення оптимальних конструктивних і технологічних параметрів запропонованого змішувача розроблено математичну модель, що описує перемішування частинок зернової суміші у верхній частині установки при їх розкиданні шнеком.

Моделювання руху частинки кормової суміші в процесі розкидання складається із двох етапів.

Перший етап полягає в розв'язанні задачі про рух частинок по гвинтовій поверхні шнеку при виході із суцільної маси зернової суміші. Для цього необхідно знайти розв'язок наступної системи звичайних диференціальних рівнянь, які було одержано в полярних координатах ρ і ϕ :

$$\begin{cases} \ddot{\rho} = \rho(\dot{\phi} + \omega)^2 - \frac{f(g\rho - 2\omega\rho k)\dot{\rho}}{V\sqrt{k^2 + \rho^2}}, & V = (\dot{\rho}^2 + (\rho^2 + k^2)\dot{\phi}^2)^{1/2} \\ \ddot{\phi} = \frac{-1}{\rho^2 + k^2}(gk + 2\rho\dot{\rho}(\dot{\phi} + \omega)) - \frac{f(g\rho - 2\omega\rho k)\dot{\phi}}{V\sqrt{k^2 + \rho^2}} \end{cases} \quad (1)$$

Тут ω – кутова швидкість шнека; $k = h / 2\pi$, де h – крок шнека; g – прискорення вільного падіння; f – коефіцієнт тертя ковзання.

Початкові умови для системи (1) визначаються початковим положенням розглянутої частинки й кутовою швидкістю.

Рівняння (1) одержані в припущенні, що при виході з товщі суміші частинка не зазнає значного впливу з боку інших частинок. При виведенні рівнянь (8) враховувалися відцентрова й коріолісова сили інерції, сила ваги й сила кулонівського тертя, що діють на частинку. Розв'язання системи (1)

здійснювали чисельно методом Рунге-Кутти при різних початкових умовах до моменту часу, коли частинка сходить із поверхні шнека ($\rho = R$). Такі розрахунки дозволили визначити залежність швидкості частинки, з якою вона сходить зі шнека, від її початкової відстані до центральної вісі (рис. 3).

Другий етап моделювання динаміки частинки полягає в розв'язанні задачі про її рух в повітряному потоці до моменту падіння на поверхню суміші. Для цього відшукуємо розв'язок системи звичайних диференціальних рівнянь руху вільної матеріальної точки, яка у векторному виді записується так:

$$m\ddot{\vec{r}} = m\vec{g} + 0,5C_x\rho_n S v^{(r)} \cdot \vec{v}^{(r)}, \quad (2)$$

де \vec{r} – радіус-вектор положення частинки, m – її маса, $\vec{v}^{(r)} = \vec{V}(\vec{r}) - \dot{\vec{r}}$ – швидкість повітряного потоку відносно частинки, \vec{V} – абсолютна швидкість повітряного потоку, C_x – коефіцієнт аеродинамічного опору, S – мідель частинки, ρ_n – густина повітря. Значення коефіцієнта C_x вибиралося на основі експериментальних даних для обтікання сфери. В якості початкових умов для системи (2) вибирали значення координат і швидкості частинки при її сходженні з поверхні шнека, тобто з розв'язку системи (1) при $\rho = R$.

Найбільш складним завданням є відшукування поля швидкостей $\vec{V}(\vec{r})$ повітря. Цю аеродинамічну задачу розв'язували у тривимірній постановці у наближенні до ідеальної нестисливої рідини.

Введемо потенціал поля швидкостей φ_n . З рівняння нерозривності для потенціалу φ_n маємо рівняння Лапласа:

$$\frac{\partial^2 \varphi_n}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 \varphi_n}{\partial y^2} + \frac{\partial^2 \varphi_n}{\partial z^2} = 0. \quad (3)$$

На твердих поверхнях, що обмежують область течії, задамо умову непротікання:

$$\frac{\partial \varphi_n}{\partial n} = 0. \quad (4)$$

При цьому на поверхні обертових лопаток крильчатки умова (4) перетвориться до вигляду:

$$\frac{\partial \varphi_n}{\partial n} = V_{0n}, \quad (5)$$

де V_{0n} – нормальна швидкість руху поверхні лопатки.

Форму вихрових поверхонь, які сходять з лопаток, будемо вважати заздалегідь невідомою, так само як і інтенсивність розподілених на ній вихорів. На таких поверхнях повинна виконуватися умова безперервності поля тиску.

Для визначення тиску по знайденому потенціалу φ_n будемо використовувати так званий інтеграл Коші – Лагранжа:

$$\rho_n \left(\frac{\partial \varphi_n}{\partial t} + \frac{(\nabla \varphi_n)^2}{2} \right) + p = p_0, \quad (6)$$

де p_0 – атмосферний тиск при нульовому полі швидкостей.

Таким чином, для визначення гідродинамічних параметрів повітряних потоків маємо крайову задачу (3) – (5), яку слід доповнити завданням початкових умов для полів швидкостей і тиску:

$$\vec{v} = 0, \quad p = p_0 \quad \text{при } t = 0 \quad (7)$$

і закону руху всіх рухливих елементів конструкції

$$\omega_i = \omega_{0i}(t), \quad i = \overline{0,4}. \quad (8)$$

Тут ω позначає кутову швидкість, нижній індекс, що дорівнює нулю, позначає основний робочий орган (шнек), а при інших значеннях – один з консольних валів.

Задачу (3) – (8) розв'язували чисельно за допомогою методу дискретних вихорів до виведення розв'язку на стаціонарний режим. Суть методу полягає у наступному.

Розбиваємо всі обмежуючі області поверхні, а також гвинтову поверхню шнека, лопатки з крильчатками консольних валів на окремі панелі. На кожній такій панелі розміщуємо *приєднану* вихрову рамку, тобто вихрову нитку, що проходить по межі панелі. Інтенсивність кожної вихрової рамки будемо вважати постійною і позначати Γ_i (i – порядковий номер рамки). Кожний відрізок такого вихрового багатокутника індукує наступну швидкість у довільній точці області згідно з формулою Біо-Савара:

$$\vec{v} = \frac{\Gamma_i}{4\pi} \frac{\vec{r}_1 \times \vec{r}_2}{|\vec{r}_1 \times \vec{r}_2|^2} \left[(\vec{r}_2 - \vec{r}_1) \cdot \begin{pmatrix} \vec{r}_1 & -\vec{r}_2 \\ r_1 & r_2 \end{pmatrix} \right]. \quad (9)$$

Тут \vec{r}_1, \vec{r}_2 – радіус-вектори кінців вихрового відрізка, що відкладаються від точки, у якій визначається швидкість. Інтенсивності $\Gamma_i, i = 1 \dots N$ (N – загальне число панелей) заздалегідь невідомі, вони визначаються з умови непротікання на твердих поверхнях. Цій умові будемо задовольняти в центрі кожної панелі.

Крім цього враховуємо вихровий шар, що сходиться із лопаток крильчатки. Його також будемо моделювати вихровими рамками, які називаються *вільними* вихровими рамками.

Нехай N^* кількість вільних вихрових рамок. Тоді нормальна швидкість у центрі i -ї панелі визначається за формулою:

$$v_{ni} = \sum_{k=1}^N a_{ik} \Gamma_k + \sum_{k=1}^{N^*} b_{ik} \Gamma_k^*. \quad (10)$$

Тут коефіцієнти a_{ik} являють собою нормальну швидкість, індуковану k -ою приєднаною вихровою рамкою одиничної інтенсивності в центрі i -ї панелі, b_{ik} – нормальну швидкість від k -ої приєднаної рамки. Вирази (10) при $i = 1, 2, \dots, N$ визначають систему лінійних алгебраїчних рівнянь відносно Γ_i , розв'язок якої відшукували чисельно на кожному кроці за часом.

Чисельні розрахунки, результати яких наведені нижче, зроблені при наступних значеннях конструктивних параметрів установки: радіус шнека $R = 0,075$ м, крок шнека $h = 0,07$ м, радіус корпусу $R = 0,4$ м. Розрахунки

проводили для чотирьох режимів роботи установки. Кожен з режимів характеризується кутовою швидкістю обертання шнека ω_0 і кутовою швидкістю обертання консольних валів ω_1 :

Режим № 1 – $\omega_0 = 132$ об/хв., $\omega_1 = 1680$ об/хв.;

Режим № 2 – $\omega_0 = 165$ об/хв., $\omega_1 = 2100$ об/хв.;

Режим № 3 – $\omega_0 = 195$ об/хв., $\omega_1 = 2480$ об/хв.;

Режим № 4 – $\omega_0 = 226$ об/хв., $\omega_1 = 2880$ об/хв.

На рис. 2 показані розподіли поля швидкостей у меридіональному і осьовому перерізах, які знайдені чисельним розв'язанням аеродинамічної задачі. З наведених рисунків видно, що потоки повітря, які створюють обертові крильчатки, мають досить складну структуру. Рис. 2а демонструє строгу періодичність в азимутальному напрямку, яка визначається розташуванням консольних валів. Найявнішій шнека майже не порушує симетрію розподілу швидкостей. Привертають увагу вертикальні потоки повітря біля стінки змішувача, спрямовані вертикально вниз (рис. 2б).

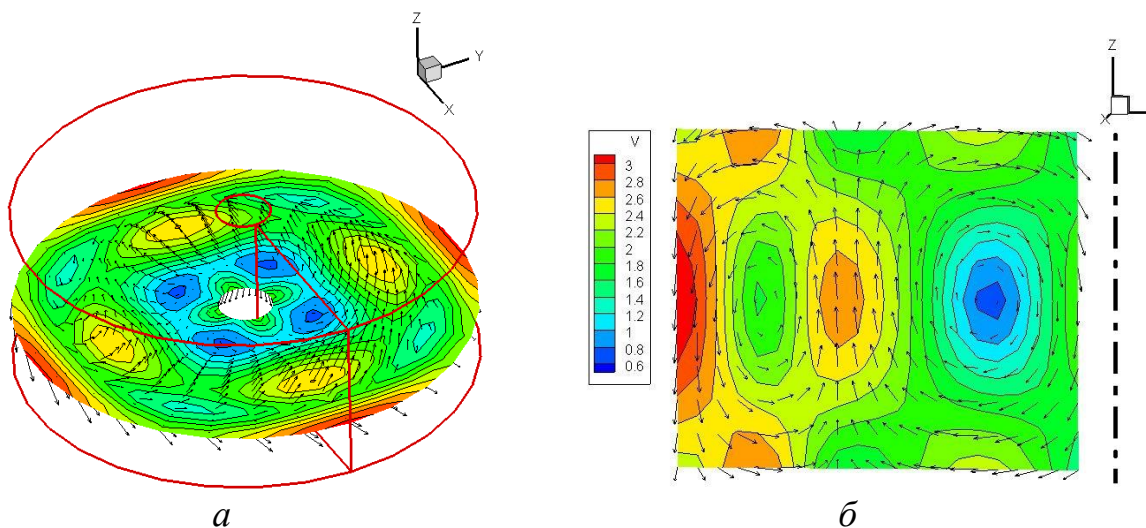


Рис. 2. Поле швидкостей повітряних потоків для режиму № 3,
а – осьовий переріз, б – меридіональний переріз

На рис. 3 наведені графіки залежності радіальної (рис. 3а) і азимутальної (рис. 3б) швидкостей частинок зернової суміші в момент сходження з поверхні шнека для різних режимів роботи змішувача.

Ці результати отримані чисельним інтегруванням рівнянь (1). Частина графіка, яка зображена пунктиром, відповідає тим значенням початкового радіуса, при яких частинки не покидають область, обмежену радіусом шнека.

Для дослідження розсіювання частинок по поверхні зернової суміші в змішувачі найбільше значення представляє кінцеве положення частинки на поверхні суміші при розкиданні. Методика проведення розрахунків полягала в наступному. Для початкового моменту часу вибирали $N_v = 30$ частинок-маркерів певного розміру й маси відповідно до гранулометричного складу реальної зернової суміші. Вони розташовані уздовж радіуса шнека на поверхні суміші.

Далі для фіксованої кутової швидкості шнека розраховували положення й швидкості частинок при сході зі шнека (розв'язок рівнянь (1)). Наступний крок полягав у розрахунках вільного руху цих частинок у потоці повітря (розв'язок рівнянь (2)) з урахуванням попередньо розрахованого поля швидкостей повітряного потоку. Розраховане остаточне положення частинки на поверхні суміші дало можливість оцінити ступені розсіювання. Порівняння початкової й кінцевої точок траєкторій для великого набору частинок-маркерів дало можливість зробити висновки про розподіл частинок, тобто про якість їх перемішування. Для цього проводили два варіанти розрахунків: з урахуванням впливу консольних валів і без урахування.

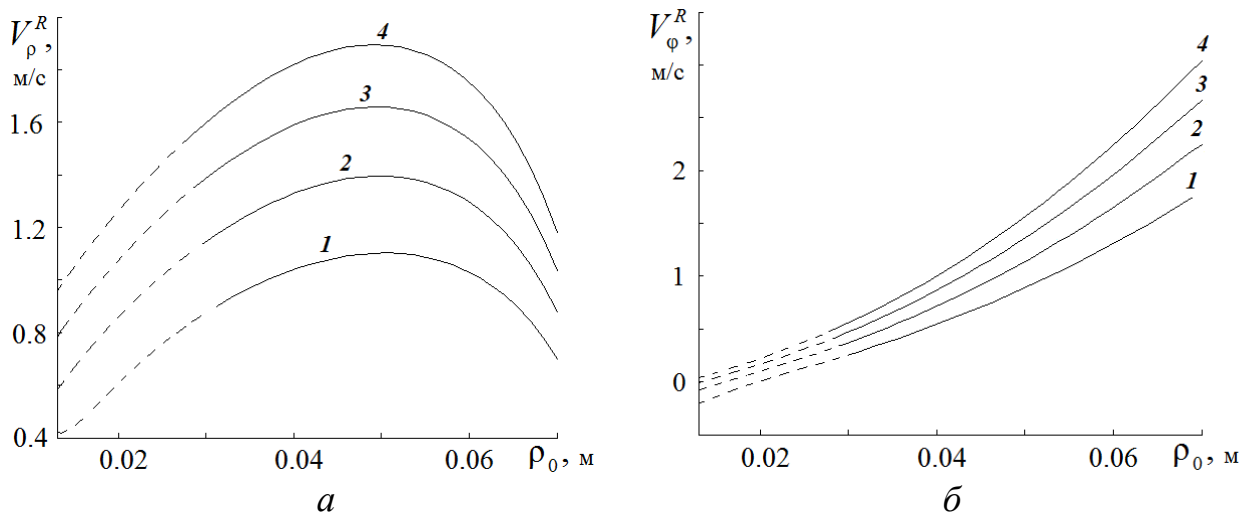


Рис. 3. Залежності швидкості сходу частинки \vec{V}^R від її початкового положення ρ_0 ($\varphi_0 = 0$) для різних режимів роботи змішувача:

а – радіальна швидкість; б – азимутальна швидкість.

Для кількісної оцінки ступеня розсіювання частинок був введений коефіцієнт розсіювання σ_k , який підраховували окремо для кожного набору частинок із різними розмірами та густиною за формулою:

$$\sigma = \frac{1}{N_{\text{ч}} - 1} \sum_{i=1}^{N_{\text{ч}}} \left(\frac{r_i^2}{R^2} (1 + \varphi_i^2) \right), \quad (11)$$

де r_i, φ_i – полярні координати точки падіння частинки, R – радіус змішувача. Цей коефіцієнт являє собою середньоквадратичне відхилення частинки від центру змішувача, у якому окремо враховано зрушення частинки в азимутальному (круговому) напрямку.

На рис. 4 а представлені розрахункові значення коефіцієнта розсіювання для різних режимів роботи установки. Порівняння двох графіків дозволяє стверджувати, що наявність консольних валів істотно збільшує ефективність змішування частинок у верхній частині і змішувача і тим самим загальну ефективність роботи змішувача.

Загальну ефективність змішувача оцінювали за допомогою статистичного моделювання на основі коміркової моделі. На рис. 4 б показані графіки

залежності часу перемішування від частоти обертання консольних валів з урахуванням і без урахування впливу цих додаткових робочих органів. Як видно з рис. 4 б, наявність консольних валів з крильчаткою приводить до істотного скорочення часу роботи змішувача. Приведена коміркова модель не враховує поліпшення якості змішування при розкиданні частинок по поверхні суміші. Тому є підстави вважати, що реальний ефект від установки таких крильчаток буде навіть вище, ніж у наведених результатах розрахунків.

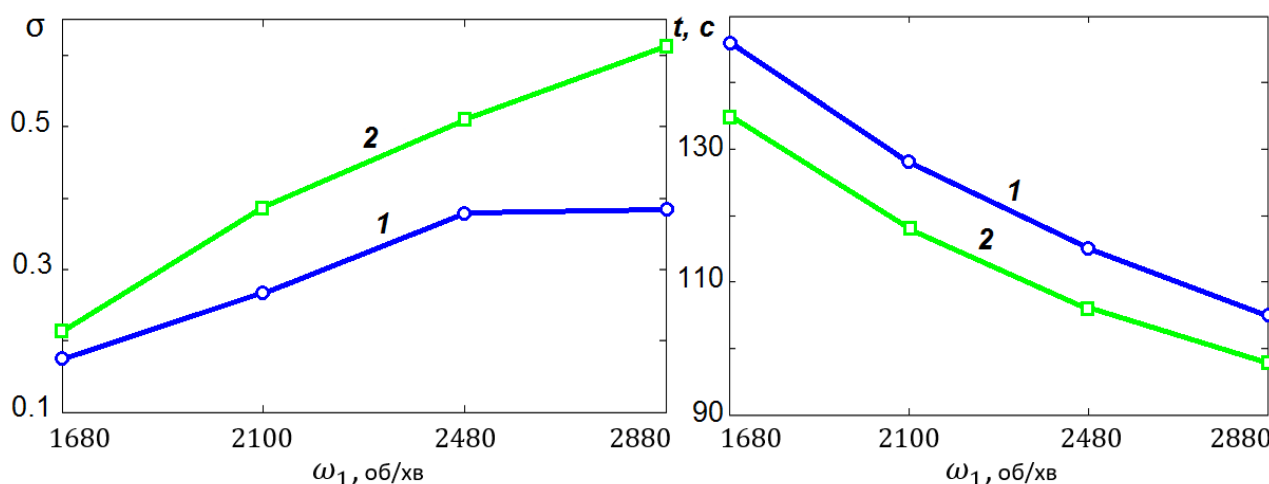


Рис. 4 а. Коефіцієнт розсіювання при різних режимах роботи.

1) – без урахування консольних валів,

Рис. 4 б. Час змішування при різних режимах роботи установки.

2) – з урахуванням консольних валів.

У третьому розділі дано докладний опис експериментально-дослідного зразка вертикальної малогабаритної комбікормової установки (ВМКУ – 04). Також у розділі описано експериментальні дослідження, які проводили з метою визначення впливу факторів на якість змішування і визначення оптимального режиму роботи установки.

Установку виготовлено згідно розробленої технічної документації в ХНТУСГ ім. П. Василенка, а лабораторні дослідження проводили в лабораторії механізації виробництва у тваринництві Інституту тваринництва НААНУ. Загальний вигляд установки показано на рис. 5. На рис. 6 показано загальний вигляд додаткових робочих органів, які приводяться до обертання від основного валу через циліндричну зубчасту передачу.

При проведенні експериментів в якості основних факторів були обрані: 1 – час змішування; 2 – частота обертання консольних валів; 3 – кут нахилу лопаток на додаткових робочих органах (в експериментах використовували попередньо виготовлені різні набори двохплощинних лопаток з певними кутами нахилу).

Параметром оптимізації є якість змішування (коефіцієнт однорідності суміші).

Для проведення експериментальних досліджень обрано трирівневий план Бокса-Бенкіна, який вдало поєднує економічність і точність результатів при статистичній обробці. Відзначимо, що повний трирівневий трифакторний план

складається з 27 точок, тоді як план Бокса-Бенкіна тільки з 15, де в якості факторів варіювання обрані час змішування, частота обертання шнеку, кути нахилу лопаток. Рівні зміни факторів експерименту призначали наступними:

- 1) час змішування X_1 – 1 хв., 2 хв., 3 хв.;
- 2) частота обертання консольних валів X_2 – 2100 об/хв., 2480 об/хв., 2880 об/хв.;
- 3) кути нахилу лопаток X_3 – 30° , 45° , 60° .



Рис. 5 Загальний вигляд установки ВМКУ – 04:

1 – захисний кожух приводу; 2 – корпус; 3 – рама; 4 – ваги.



Рис. 6 Додаткові робочі органи установки:

1 – привідна шестерня; 2 – відома шестерня; 3 – консольний вал з крильчаткою.

При проведенні експериментальних досліджень по змішуванню зерноsumіші до основного матеріалу додавали 1 % контрольного компоненту – зерна ячменю одного типорозміру. В якості компонентів основного матеріалу, що підлягав змішуванню, обрали пшеничну, ячмінну і кукурудзяну дерті. Послідовність виконання робіт при проведенні експериментальних досліджень наступна:

- 1) визначали режим роботи змішувача за попередньо складеним планом експерименту, тобто вибирали певні значення часу змішування, швидкості обертання шнеку і кути нахилу лопаток із крильчатками;
- 2) за допомогою завантажувального шнека засипалися три компоненти зерноsumіші загальною вагою ($50 \text{ кг} \pm 50 \text{ г}$) з одночасним додаванням контрольного компоненту вагою 0,5 кг;
- 3) вмикали електропривод установки та ретельно контролювали час роботи установки згідно з вибраним режимом;
- 4) готову зерноsumіш вивантажували з бункера, при цьому проводили

відбір 15 проб на лабораторний аналіз;

5) виконували лабораторний аналіз по визначенню однорідності (якості) змішування, вологості, гранулометричного складу та об'ємної ваги дослідного матеріалу;

б) проводили статистичний аналіз отриманих результатів за методом регресійного аналізу, визначали оптимальні параметри роботи змішувача.

Для кожного набору параметрів, які відповідають одній точці плану дослідів, проводили 3 повторності для контролю відтворюваності експерименту.

У четвертому розділі за допомогою регресійного аналізу проведено статистичний аналіз результатів багатofакторного експерименту, показано відтворюваність результатів експерименту і знайдено рівняння регресії, інакше кажучи, розроблена математична модель, що описує залежність коефіцієнта однорідності суміші від вибраних техніко-технологічних параметрів змішувача.

Ця залежність має вигляд полінома другого порядку від вибраних параметрів. Коефіцієнти рівняння регресії визначали за допомогою методу найменших квадратів, а після цього оцінювали на значимість. Також з використанням критерію Фішера доведено адекватність отриманого рівняння регресії. В нормалізованих (кодованих) координатах це рівняння має вигляд:

$$y = 88,38 - 2,674x_1 + 5,865x_2 - 1,021x_1x_2 - 2,163x_1^2 + 1,771x_2^2 - 1,636x_3^2. \quad (12)$$

Тут $y = M[\lambda]$ – математичне очікування випадкової величини критерію оптимізації (коефіцієнта однорідності), x_i – нормалізовані фактори впливу ($i = 1, 2, 3$): x_1 – час, x_2 – частота обертання, x_3 – кут нахилу лопаток. Зв'язок кодованих координат x_i і фізичних величин X_i визначається формулою:

$$x_i = 2 \frac{X_i - X_{i0}}{X_{iB} - X_{iH}}. \quad (13)$$

де X_{iH}, X_{i0}, X_{iB} – відповідно значення фактору на нижньому, нульовому та верхньому рівнях.

Аналіз рівняння регресії показав, що функція $y(x_1, x_2, x_3)$ монотонно зростає по x_2 . З погляду вибору оптимальних параметрів змішувача отриманий результат означає, що максимальна якість змішування досягається при максимальній швидкості обертання робочих органів. При цьому збільшення швидкості обертання консольних валів зверху прийнятого веде до додаткового подрібнювання частинок суміші (найчастіше небажаному) і до деформації елементів додаткових робочих органів через суттєво зростаючі динамічні навантаження.

Тому прийняте в експерименті верхнє значення параметра $X_2 = 2880$ об/хв ($x_2 = 1$) вважаємо оптимальним. Оптимальні значення інших параметрів відповідають точці максимуму функції $y(x_1, x_3)$ поблизу точки $x_2 = 1$.

Відповідні розмірні величини мають значення: $X_1 = 1,15$ хв (приблизно 69 с), $X_3 = 45^\circ$.

Уявлення про функцію $y(x_1, x_2, x_3)$ дає серія графіків на рис. 7 (двовимірні перетини функції відгуку).

Також в розділі наведено результати випробувань змішувача на виробництві, де його використовували для приготування різних типів кормосумішей. При цьому параметри змішувача фіксували на оптимальних значеннях, що отримані при проведенні багатофакторного експерименту. Результати виробничої перевірки довели ефективність роботи установки при знайдених експериментально оптимальних значеннях параметрів. Середнє значення коефіцієнту однорідності отриманої суміші складає 95,6 %.

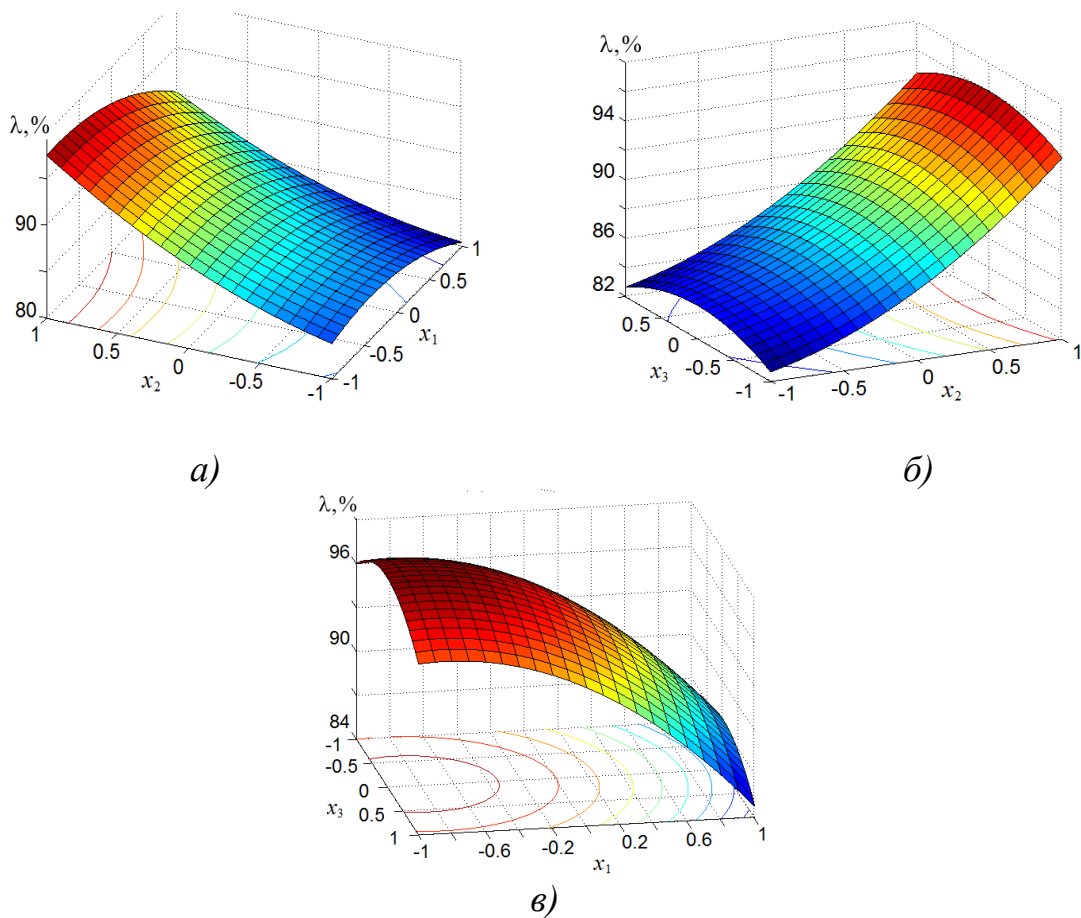


Рис. 7. Залежність коефіцієнту однорідності суміші від параметрів:

а) $x_3 = 0$, б) $x_1 = -0.854$, в) $x_2 = 1$.

У п'ятому розділі наведено результати впроваджень, виробничих випробувань і розрахунки техніко-економічної ефективності застосування розробленої нової конструкції вертикального типу змішувача інгредієнтів комбікормів.

Розрахунок економічної ефективності здійснено за Національним Стандартом України «Методи економічного оцінювання техніки на етапі випробування» ДСТУ 4397:2005 та у відповідності до Галузевого стандарту

України «Методи економічної оцінки техніки для тваринництва» ГСТУ 46.012-2000 року.

Річний економічний ефект від застосування більш нових засобів механізації, які забезпечують економію виробничих ресурсів при випуску однієї і тієї ж продукції, визначали як різницю приведених витрат. Отриманий результат узагальнюючих показників техніко-економічної ефективності виконання робіт доводить, що змішування інгредієнтів комбікормів при застосуванні розробленої вертикальної малогабаритної комбікормової установки дозволяє якісно виконувати роботи за собівартістю майже на 14 % нижчою порівняно з СМ – 1.

При цьому питомі енерговитрати процесу змішування зерноsumіші знижуються з 1,35 кВт-год до 0,75 кВт-год на тону, експлуатаційні витрати – на 14 % або до 86 грн./т. Річний економічний ефект від використання розробленого змішувача вертикального типу в приватних підприємствах в порівнянні з серійним змішувачем СМ – 1 складає 6610 грн. на кожену установку, рентабельність змішування складає близько 17 %, термін окупності ВМКУ – 04 не перевищує трьох років.

ВИСНОВКИ

У дисертації наведено теоретичне узагальнення і нове вирішення наукового завдання, що виявляється в обґрунтуванні параметрів процесу і нової конструкції змішувача, як процесу нелінійної динаміки сипкого середовища в зоні камери змішування з керованим перерозподілом змішуваних інгредієнтів під впливом повітряних вихрових потоків з урахуванням фізико-механічних властивостей кормів. Це дозволило підвищити ефективність процесу змішування інгредієнтів комбікормів.

Головними підсумками виконаної роботи є наступні результати:

1. Проведеним аналізом відомих конструкцій змішувачів та результатів досліджень процесів змішування встановлено, що існуючі пристрої не в повній мірі задовольняють зростаючі вимоги виробництва для приготування комбікормів, мають недостатню однорідність суміші, високу енергоємність і складну будову. Для інтенсифікації процесу змішування і забезпечення необхідної його якості запропоновано нову конструкцію змішувача, в якому інтенсифікація процесу досягається за рахунок впливу керованих вихрових повітряних потоків при змішуванні інгредієнтів комбікормів. Для визначення конструктивно-кінематичних параметрів розробленого змішувача необхідні теоретичні та експериментальні дослідження, які б дозволили обґрунтувати методи і алгоритми керування розрахунку технологічних показників процесу змішування.

2. Проведеними дослідженнями створені математичні моделі нелінійної динаміки сипкого середовища і встановлені закономірності розподілу швидкостей частинок в зоні камери змішування в залежності від параметрів вихрових рамок і фізико-механічних властивостей кормів. Встановлено, що

вектори швидкостей у меридіональних і осьових перетинах змінюються від 0,5 до 3,0 м/с.

3. Виконаними теоретичними дослідженнями руху частинок кормової суміші по поверхні витка шнека встановлено, що максимальний кут сходження частинки корму із витка шнека дорівнює 18° , а максимальна радіальна швидкість досягається при початковому радіусі рівному 0,05 м і дорівнює 1,76 м/с.

4. Застосуванням коміркової статистичної моделі визначено час циклу змішування від кінематичних параметрів процесу, встановлено, що із зростанням частоти обертання шнека від 132 до 226 об/хв. час циклу змішування зменшується від 148 до 106 с.

5. Для моделювання процесів змішування експериментально визначені фізико-механічні властивості змішуваних інгредієнтів: коефіцієнт тертя по сталі $f_{\text{зов}} = 0,42$; коефіцієнт внутрішнього тертя $f_{\text{вн}} = 0,74$; насипна щільність $\rho = 583 \text{ кг/м}^3$; гранулометричний склад $M = 1,1 \text{ мм}$.

6. Комплексним аналізом результатів теоретичних і експериментальних досліджень і багатофакторного експерименту визначені оптимальні конструктивно-технологічні параметри розробленого змішувача при однорідності змішування $\lambda = 98,4 \%$: час змішування $t = 69 \text{ с}$, частота обертання консольних валів $n = 2880 \text{ об/хв}$; кут нахилу лопаток $\varphi = 45^{\circ}$.

7. Виробничими випробуваннями розробленого змішувача в умовах приватного господарства ФОП «Колісник М. О.» Харківського району Харківської області при приготуванні комбікормів встановлено, що однорідність змішування, яка характеризує ефективність процесу, відповідає зоотехнічним вимогам і складає 95,6 %. Енергоємність процесу змішування знижена на 13,7 %; рівень рентабельності виконання робіт складає близько 17 %; термін окупності запропонованого вертикального кормозмішувача не перевищує трьох років. Річний економічний ефект від зниження експлуатаційних витрат становить більше 6,6 тис. грн. на одну установку.

СПИСОК ОПУБЛІКОВАНИХ ПРАЦЬ ЗА ТЕМОЮ ДИСЕРТАЦІЇ

Статті у наукових фахових виданнях

1. **Мироненко А. П.** Технологічний процес змішування інгредієнтів комбікормів / А. П. Мироненко // Вісник Харківського національного технічного університету сільського господарства ім. Петра Василенка. – Х., 2007. – Вип. 59, т. 1. – С. 344 – 350. – (Серія “Механізація с.-г. виробництва”).

2. **Мироненко А. П.** Дослідження технологічного процесу змішування кормосуміші з удосконаленою конструкцією робочого органа / А. П. Мироненко // Вісник Харківського національного технічного університету сільського господарства ім. Петра Василенка. – Х., 2008. – Вип. 75, т. 2. – С. 273 – 279. – (Серія “Механізація с. - г. виробництва”).

3. **Мироненко А. П.** Особливості вибору конструкції вертикального

трьохрівневого змішувача інгредієнтів комбікормів / А. П. Мироненко // Вісник Харківського національного технічного університету сільського господарства ім. Петра Василенка. – Х., 2010. – Вип. 93, т. 1. – С. 441 – 450. – (Серія “Механізація с. - г. виробництва”).

4. **Мироненко А. П.** Визначення оптимальних режимів роботи вертикального трьохрівневого кормозмішувача інгредієнтів комбікормів / А. П. Мироненко // Вісник Харківського національного технічного університету сільського господарства ім. Петра Василенка. – Х., 2011. – Вип. 107, т. 2. – С. 215 – 221. – (Серія “Механізація с.-г. виробництва”).

5. **Мироненко А. П.** Удосконалення конструкції вертикального трирівневого кормозмішувача сипких матеріалів / А. П. Мироненко, М. В. Сікун // Вісник Харківського національного технічного університету сільського господарства ім. Петра Василенка. – Х., 2013. – Вип. 135. – С. 422 – 429. – (Серія “Механізація с.-г. виробництва”).

6. **Мироненко А. П.** Основні зоотехнічні показники вирощування порослят в різних піддослідних групах / М. В. Сікун, А. П. Мироненко // Вісник Харківського національного технічного університету сільського господарства ім. Петра Василенка. – Х., 2013. – Вип. 135. – С. 388 – 391. – (Серія “Механізація с.-г. виробництва”).

7. **Мироненко А. П.** Виробнича перевірка результатів досліджень вертикального змішувача інгредієнтів комбікормів в умовах господарства / А. П. Мироненко, О. І. Завгородній // Вісник Харківського національного технічного університету сільського господарства ім. Петра Василенка. – Х., 2014. – Вип. 144. – С. 12 – 18. – (Серія “Технічні системи і технології тваринництва”).

8. **Мироненко А. П.** Економічна ефективність використання розробленої конструкції вертикального змішувача для приготування сипких матеріалів / А. П. Мироненко // Збірник наукових праць Вінницького національного аграрного університету. – Вінниця 2014. – Вип. 1(84). – С. 142 – 152. (Серія “Технічні науки”).

Патенти

9. Пат. 105446 UA України. МПК А 23 N17/00, В 01 F7/24. Змішувач інгредієнтів комбікормів / Мироненко А. П.; заявник та патентовласник Інститут тваринництва НААН, – № а 201304199; заявл. 04.04.13, опубл. 12.05.14, Бюл. № 9. – 4с.

Матеріали і тези конференцій

10. **Мироненко А. П.** Результаты исследований разработанной конструкции вертикального смесителя ингредиентов комбикормов в условиях хозяйства / А. П. Мироненко, А. И. Завгородній // Современные проблемы развития инновационных технологий в АПК: сб. научн. тр. международ. научно – производственной конференции Белгородской ГСА. – Белгород: БГСА им. В. Я. Горина, 2014. – С. 85 – 88.

Статті у зарубіжних виданнях

11. **Мироненко А. П.** Оптимизация конструкции вертикального

трехуровневого смесителя сыпучих материалов методом математического моделирования / А. П. Мироненко, А. И. Завгородний // *lucrări științifice. Zootehnie și biotehnologii / Universitatea agrară de stat din Moldova*. – Chișinău, 2013. – Vol. 34. – С. 443 – 447.

12. **Мироненко А. П.** Моделирование динамики частиц в вертикальном трехуровневом смесителе сыпучих материалов / А. П. Мироненко, А. И. Завгородний // *Восточно-Европейский журнал передовых технологий*. – 2014. – Вып. 1/7 (67). – С. 29 – 34.

АНОТАЦІЇ

Мироненко А. П. Обґрунтування параметрів технологічного процесу і розробка вертикального змішувача інгредієнтів комбікормів. – Рукопис.

Дисертація на здобуття наукового ступеня кандидата технічних наук за спеціальністю 05.05.11 – машини і засоби механізації сільськогосподарського виробництва. – Харківський національний технічний університет сільського господарства ім. Петра Василенка. Харків, 2016.

У дисертації вирішено наукове завдання, яке направлене на підвищення ефективності процесу змішування інгредієнтів комбікормів шляхом розробки нової конструкції змішувача вертикального типу з основним робочим органом у вигляді шнека. Запропонована конструкція змішувача найбільш суттєво відрізняється від існуючих аналогів наявністю додаткових робочих органів – чотирьох консольних валів з двохплощинними лопатками.

Побудовано математичну модель, яка дозволяє описувати динаміку розкидання частинок зернової суміші у верхній частині запропонованого змішувача. В основу моделі покладено метод дискретних вихорів для розрахунків поля швидкостей повітряних потоків і рівняння динаміки частинок. Визначені оптимальні значення конструктивно-кінематичних параметрів вертикальної малогабаритної комбікормової установки (ВМКУ – 04). В результаті проведених досліджень доведено ефективність установки, яка забезпечує для визначених оптимальних параметрів рівномірність змішування понад 98,4 %.

Ключові слова: зерноsumіш, інгредієнти комбікормів, процес змішування, вертикальний змішувач, рівномірність змішування, ефективність.

Мироненко А. П. Обоснование параметров технологического процесса и разработка вертикального смесителя ингредиентов комбикормов. – 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, 2016.

В диссертации решено научное задание, направленное на повышение эффективности процесса смешивания ингредиентов комбикормов путем

разработки новой конструкции смесителя вертикального типа. В конструкции смесителя, помимо основного рабочего органа – шнека, предлагается использовать дополнительные рабочие органы – четыре консольных вала с двухплоскостными лопатками, размещаемые в верхней части кормосмесителя. Наличие таких дополнительных рабочих органов позволяет интенсифицировать процесс перемешивания зерновых частиц при их разбрасывании над поверхностью смеси.

Объектом исследований является процесс смешивания ингредиентов комбикормов и его связь с конструктивно-кинематическими параметрами разработанного смесителя вертикального типа и механико-технологическими свойствами смешиваемых компонентов.

Построена математическая модель, которая позволяет описывать динамику разбрасывания частиц зерновой смеси в верхней части смесителя. В основу модели положен метод дискретных вихрей для расчетов поля скоростей воздушных потоков и уравнения динамики частиц. Также получила дальнейшее развитие математическая модель движения частиц кормовой смеси по поверхности вращающегося вертикального шнека, что позволяет находить угол схода частицы кормов из шнека и ее скорость для общего случая, когда параметры воздействия на процесс транспортировки имеют произвольные значения.

Для определения закономерностей движения кормовой смеси в рабочем пространстве найдено поле скоростей потока смеси и установлены области наиболее активного смешивания кормов. В работе также предложен статистический критерий, который позволяет на основе многовариантных расчетов конечных положений частиц-маркеров на поверхности смеси при их разбрасывании количественно оценить степень рассеяния частиц по поверхности сыпучего материала в смесителе. Разработана методика проведения расчетов времени смешивания сыпучего материала в смесителе на основе статистической ячеечной модели, в которой дисперсия времени пребывания частиц в зоне действия консольных валов с крыльчаткой подсчитывалось по предложенной модели разбрасывания частиц.

Для определения оптимальных параметров смесителя проведен трехфакторный эксперимент с использованием плана Бокса – Бэнкина. Обработка результатов экспериментальных исследований выполнена с использованием статистического регрессионного анализа и других методов математической статистики. Полученные результаты экспериментов по определению оптимального времени смешивания согласуются с данными теоретических исследований с расхождением 3...5 %, что подтверждает адекватность построенных математических моделей.

Полученные значения оптимальных технико-технологических параметров установки составляют 2880 об/мин для частоты вращения консольных валов, 45° для углов наклона лопаток консольных валов и 69 с для времени смешивания.

Производственные испытания опытного образца смесителя по

смешиванию ингредиентов комбикормов проводились в частном предприятии Харьковской области и частной агрофирме Полтавской области. По результатам испытаний средняя степень однородности полученной смеси составила 95,50 – 95,60 % при показателе влажности дробленой зерновой смеси 9,80 – 13,5 %. При этом удельные энергозатраты на смешивание зерносмеси снизились с 1,35 кВт-час до 0,75 кВт-час на тонну, эксплуатационные затраты – на 14 % до 86 грн./т. Таким образом, годовой экономический эффект от использования разработанного смесителя вертикального типа в частных хозяйствах в сравнении с серийным смесителем СМ – 1 составляет 6610 грн. на каждую установку, рентабельность смешивания – 17 %, срок окупаемости ВМКУ – 04 не превышает трех лет.

Ключевые слова: зерносмесь, ингредиенты комбикормов, процесс смешивания, вертикальный смеситель, равномерность смешивания, эффективность.

Myronenko A. P. The process parameters substantiation and the elaborate of vertical mixer for mixed fodders ingredients. – Manuscript.

The dissertation on competition of a sciences degree of the candidate of engineering sciences on a specialty 05.05.11 – machines and facilities of mechanization of agricultural production. – Kharkiv national technical university of agriculture to the name of Petro Vasilenka. Kharkiv, 2016.

The dissertation (PhD thesis) is aimed at solving a scientific problem of mixing efficiency increase for preparing of mixed fodders. The problem is solved by developing a new design of vertical type mixer with a screw as the main driven element. The main difference of the mixer design is presence of additional driven elements - four cantilevered shafts with two-plane-blades.

A mathematical model that allows to describe the spreading dynamics of particles of grain mixture inside of a top part of the proposed mixer is built. The model is based on the method of discrete vortices for calculation of the velocity field for air flows and particle dynamics equations. The optimal values of constructive-kinematic parameters of vertical compact fodder mixer (VMKU – 04) have been found. The efficiency of the developed setup has been confirmed by experimental research, where mixing homogeneity was over 96 % under optimum parameters.

Key words: grain mixture, ingredients of mixed fodders, mixing process, vertical mixer, mixing homogeneity, efficiency.

Підписано до друку 11.07.2016 р. Формат 60x84/16.
Папір офсетний. Гарнітура Times ET. Друк ризографічний.
Умов.-друк. арк. 0,9. Наклад 100 прим. Замов. № 1107/6-16.

Надруковано з готового оригінал-макета у друкарні ФОП В. В. Петров
Єдиний державний реєстр юридичних осіб та фізичних осіб-підприємців.

Запис № 24800000000106167 від 08.01.2009 р.

61144, м. Харків, вул. Гв. Широнінців, 79в, к. 137, тел. (057) 778-60-34.

e-mail:bookfabrik@mail.ua