

**КАБІНЕТ МІНІСТРІВ УКРАЇНИ  
НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ БІОРЕСУРСІВ  
І ПРИРОДОКОРИСТУВАННЯ УКРАЇНИ**

**АЧКЕВИЧ ОКСАНА МИКОЛАЇВНА**

УДК 631.363

**ОБГРУНТУВАННЯ ПАРАМЕТРІВ ЗМІШУВАЧА  
КОРМОВИХ ДОБАВОК БАРАБАННОГО ТИПУ**

05.05.11 – машини і засоби механізації сільськогосподарського виробництва

Автореферат дисертації на здобуття наукового ступеня  
кандидата технічних наук

Київ–2015

Дисертацією є рукопис

Робота виконана у Національному університеті біоресурсів і природокористування України Кабінету Міністрів України

**Науковий керівник** доктор технічних наук, професор  
**Ревенко Іван Іванович**,  
Національний університет біоресурсів  
і природокористування України,  
професор кафедри механізації тваринництва  
та біотехнологічних систем

**Офіційні опоненти:** доктор технічних наук, професор  
**Брагінець Микола Володимирович**,  
Луганський національний аграрний університет,  
в.о. ректора

кандидат технічних наук,  
старший науковий співробітник  
**Братішко Вячеслав Вячеславович**,  
Національний науковий центр «Інститут  
механізації та електрифікації сільського  
господарства» НААН України,  
завідувач відділу біотехнічних систем  
у тваринництві та заготівлі кормів

Захист відбудеться «30» червня 2015 р. о 13<sup>00</sup> годині у Національному університеті біоресурсів і природокористування України на засіданні спеціалізованої вченої ради Д 26.004.06 за адресою: 03041, м. Київ □41, вул. Генерала Родимцева, 19, навчальний корпус № 1, аудиторія 97

З дисертацією можна ознайомитись у бібліотеці Національного університету біоресурсів і природокористування України за адресою: 03041, м. Київ □41, вул. Героїв Оборони, 11, навчальний корпус 4, кімната 41а

Автореферат розісланий «28» травня 2015 р.

Учений секретар  
спеціалізованої вченої ради

О. А. Марус

## ЗАГАЛЬНА ХАРАКТЕРИСТИКА РОБОТИ

**Актуальність теми.** Упродовж останніх років для виробництва в умовах сільськогосподарських підприємств створена і виготовляється широка номенклатура фермерських комбікормових агрегатів, робота яких базується на використанні власної зернової сировини і покупних білково-вітамінно-мінеральних добавок.

Подальше розширення виробництва комбікормів у господарствах та одержання від їх згодовування максимальної кількості тваринницької продукції залежить від досконалості механізованих технологій та технічних засобів подрібнення і змішування кормових компонентів.

Одним із першочергових завдань є обґрунтування та розроблення засобів для приготування добавок з високою рівномірністю розподілу компонентів сумішок. Оскільки складові комбікормів за вмістом вирізняються на один-два порядки, тому доцільно проводити постадійне змішування, починаючи з найнижчих за вмістом компонентів. Жорсткіші вимоги щодо рівномірності змішування ставляться до групи мікрокомпонентів. Для цього фермерські комбікормові агрегати необхідно комплектувати відповідними змішувачами.

У зв'язку із зазначеним, розроблення механізованої технології ступінчатого змішування компонентів та обґрунтування параметрів змішувача добавок є актуальним науковим завданням, розв'язання якого дає змогу широко впроваджувати перспективні технології у тваринницьких господарствах України.

**Зв'язок роботи з науковими програмами, планами, темами.** Дисертаційна робота виконана на кафедрі механізації тваринництва Національного університету біоресурсів і природокористування України.

Дослідження за темою дисертаційної роботи є частиною науково-дослідної роботи «Обґрунтувати інтегровані технологічні процеси та технічні засоби для органічного виробництва сільськогосподарської продукції в агроєкосистемах» (номер державної реєстрації □ 0112U001678).

**Мета і задачі дослідження.** Мета дослідження □ підвищення ефективності використання кормів шляхом забезпечення рівномірного змішування компонентів.

Для досягнення поставленої мети необхідно було вирішити такі задачі:

- провести оцінку технологій та змішувального обладнання для приготування комбікормів в умовах господарств і обґрунтувати раціональну структурну схему технологічної лінії та змішувача компонентів добавок;
- проаналізувати закономірності переміщення потоків матеріалу у камері та обґрунтувати систему визначальних параметрів змішувача кормових добавок;
- дослідити вплив на рівномірність сумішки коефіцієнта заповнення робочого об'єму камери та кута нахилу її осі, тривалості обертання, а також параметрів перемішуючих лопаток (кількість, ширина, кут встановлення);
- визначити раціональні параметри роботи змішувача добавок, що забезпечують ефективний процес змішування;

- провести виробничу апробацію удосконаленого фермерського комбікормового агрегату і оцінити його ефективність.

*Об'єкт дослідження* – технологічний процес приготування комбікормів за ступеневим змішуванням компонентів та змішувач кормових добавок.

*Предмет дослідження* – закономірності впливу параметрів змішувача на ефективність технологічного процесу та обґрунтування конструктивного рішення змішувача кормових добавок.

**Методи дослідження.** Аналітичні дослідження ґрунтувалися на методах статистичного оброблення інформації, системного та емпіричного аналізу, математичного моделювання, узагальнення, а також на відомих положеннях землеробської механіки. Експериментальні дослідження проведено на розробленій лабораторній установці із застосуванням методів математичного планування багатofакторних експериментів та статистичного оброблення результатів за допомогою пакета прикладних програм Microsoft Excel 2003 та Wolfram Mathematica v.7.

**Наукова новизна одержаних результатів:**

*удосконалено* математичну модель, яка пов'язує кутову швидкість обертання з коефіцієнтом заповнення камери та кутом нахилу осі барабана і дозволяє встановити умови циркуляційного руху;

*дістало розвитку* розроблення математичної моделі, яка встановлює взаємозв'язок між шириною перемішуючої лопатки, кутовою швидкістю обертання барабана та коефіцієнтом заповнення і дозволяє отримати значення параметрів барабанного змішувача при яких досягається максимальний розсів матеріалу з лопаток по поверхні робочого сегмента суміші;

*отримано* експериментальну залежність рівномірності змішування від тривалості змішування, кута нахилу осі барабана, коефіцієнта заповнення камери, ширина перемішуючих лопаток, їх кількості та кута нахилу лопаток відносно радіального положення, що дозволяє обґрунтувати раціональні параметри барабанного змішувача з нахиленою віссю камери.

**Практичне значення одержаних результатів:**

- удосконалено конструкторсько-технологічну схему фермерського комбікормового агрегату, визначено типорозміри барабанного змішувача добавок та обґрунтовано раціональні параметри змішувача, що забезпечує поліпшення рівномірності змішування на 4,2 %;

- результати дослідження використано при розробленні технологічної схеми та комплексу обладнання для приготування комбікормових сумішок, що діє на тваринницькій фермі ВП НУБіП України «Агрономічна дослідна станція».

Технічна новизна щодо конструкцій змішувачів, підтверджується 5 патентами на корисну модель.

**Особистий внесок здобувача.** Основні теоретичні положення дисертаційної роботи та результати експериментальних досліджень отримано здобувачем особисто, а саме: побудовано системну модель функціонування виробничого процесу приготування комбікормів, обґрунтовано вибір типу змішувача, математичну модель процесу приготування сумішок комбікормових добавок, проаналізовано процес змішування у змішувачі барабанного типу,

визначено параметричні ознаки змішувача добавок. У наукових працях, опублікованих у співавторстві, доля здобувача становить від 40 до 60 %. Зокрема, викладено методологічний підхід до вивчення механізованих технологій одержання комбікормів на основі проведення системного аналізу, викладено аспекти становлення технологічних та техніко-економічних передумов механізованих технологій годівлі кормосумішками, розроблено періодизацію тенденцій розвитку фермерських комбікормових агрегатів.

Експериментальні дослідження виконано здобувачем особисто. Постановка задач, аналіз і трактування результатів виконано спільно із науковим керівником та, частково, із співавторами публікацій.

**Апробація результатів дисертації.** Результати досліджень за темою дисертації обговорювалися і схвалено на науково-технічних конференціях: «Сучасні проблеми землеробської механіки» (17–18.10. 2007, смт Глеваха); «Nauka i inowacja–2008» (07–15 pazdziernika 2008, Przemysl, Польща); «Образование и наука на 21 от век–2008» (17–25 октомври 2008, Софія, Болгарія); «Zpravu vedecke ideje–2008» (27.11–05.11.2008, Praha, Чехія); «Аграрна інженерія в умовах глобалізації. Техніка та технологія інформаційного землеробства» (НАУ, 3–4.10.2008, м. Київ); «Проблеми технічного сервісу сільськогосподарської техніки» (ХНТУСГ, 2–3.04.2009, м. Харків); «Перспективи розвитку агропромислового комплексу в Поліському регіоні України» (НАТІ, 3–4.06.2009, м. Ніжин); «Технічний прогрес у сільськогосподарському виробництві» (ННЦ «ІМЕСГ», 30.09–1.10.2009, смт Глеваха); «Технічний музей: історія, досвід, перспективи» (НАУУ, 26–29.05.2010, м. Київ); «Сучасні проблеми механізації сільськогосподарського виробництва» (НУБіП України, 27–28.05.2010, м. Київ); «Біоресурси планети та біобезпека навколишнього середовища: проблеми та перспективи» (4–8.11.2013, НУБіП України, м.Київ); «Проблеми та перспективи розвитку технічних та біоенергетичних систем природокористування» (НУБіП України, 11–15.03.2014, м.Київ); Міжнародній науковій сесії «Інноваційні проекти в галузі технічного сервісу машин» (ХНТУСГ, 20–21.03.2014, м. Харків); «Технічний прогрес у сільськогосподарському виробництві» (ННЦ «ІМЕСГ», 21–23.05.2014, смт Глеваха); конференціях науково-педагогічних працівників, наукових співробітників та аспірантів НУБіП України (м. Київ, 2005–2014, НУБіП України).

**Публікації.** Основні результати досліджень за темою дисертації опубліковано в 17 наукових працях. З них у фахових виданнях – 8, у тому числі 5 одноосібно, стаття у міжнародному збірнику. Одержано 5 патентів України на корисні моделі.

**Структура та обсяг дисертації.** Дисертаційна робота викладена на 154 сторінках машинописного тексту і включає вступ, 5 розділів основної частини, загальні висновки. Список використаних джерел містить 183 найменування, з них 14 – латиницею, додатки. Робота містить 9 таблиць та 49 рисунків.

## ОСНОВНИЙ ЗМІСТ РОБОТИ

У першому розділі «Огляд стану питання приготування комбікорму в господарствах» розкрито аспекти значення кормових сумішок у забезпеченні раціональної годівлі тварин, наведено періодизацію еволюції механізованих процесів змішування кормів, проаналізовано схеми технологічних ліній виробництва комбікормів у господарствах, розглянуто класифікацію змішувачів сипких матеріалів та їх технічні рішення, а також здійснено огляд результатів теоретичних і експериментальних досліджень.

Викладено зоотехнічні передумови застосування повноцінних кормових сумішок для збалансованої годівлі сільськогосподарських тварин, необхідність введення кормових добавок та вимоги до технологічних процесів їх підготовки.

Технічні та технологічні можливості існуючих фермерських комбікормових агрегатів не дають змоги виготовляти високоякісні комбікорми через відсутність обладнання для приготування сумішок добавок. В його раціональній схемі слід закласти порційний змішувач, який дасть змогу організувати інтенсивне переміщення компонентів у загальній масі корму. Це забезпечить ефективне виконання технологічного процесу і швидке змішування компонентів, зниження енергоємності і підвищення рівномірності змішування.

Значний внесок у формування наукових основ дослідження процесів змішування сипучих матеріалів та конструкцій змішувачів зробили такі вчені: Л. М. Батунер, В. В. Кафаров, А. А. Александровський, П. М. Василенко, В. Ф. Першин, Ю. І. Макаров, С. В. Мельников, В. І. Мойсеєнко, Ф. Г. Ахмадієв, О. І. Зайцев, Г. М. Кукта, Ю. А. Черкун, М. П. Зеленський, Л. І. Штельмах, Ф. Г. Стукалін, М. І. Комаров та ін.

Аналіз різних варіантів конструкцій змішувачів сипких матеріалів, щодо можливостей підвищення рівномірності сумішок добавок, свідчить, що кращі умови мають змішувачі з обертовою поверхнею камери, у якій унеможлиблюється явище сегрегації та утворення «мертвих зон».

Необхідність проведення подальших досліджень постала у зв'язку з потребою виявлення закономірностей, що виникають у барабанних змішувачах з активними стохастичними зонами при змішуванні кормових добавок, компоненти яких через малий вміст та сегрегацію важко розподіляються у загальній масі кормосумішки.

У другому розділі «Теоретичні передумови процесу виробництва комбікормів» виконано оцінку вагомості технологічних та техніко-економічних критеріїв процесу змішування кормів, проведено комплексну оцінку різних конструкцій змішувачів сипучих матеріалів, обґрунтовано раціональну технологічну схему змішування комбікормових добавок, проаналізовано рух компонентів сумішки у камері барабанного змішувача.

За аналізом виробничих процесів, поданих з прив'язкою до машинної технології приготування кормових сумішок, визначено, що при порівнянні оціночних показників енергоємності, затрат праці та витрат кормів на одержання одиниці тваринницької продукції, за вагомістю впливу на ефективність підготовки кормосумішки, пріоритетним напрямом у

вдосконаленні технологічного процесу змішування є поліпшення рівномірності перемішування компонентів.

Вибір раціонального типу змішувача для приготування комбікормових добавок здійснено шляхом проведення комплексної оцінки різних конструкцій за методом оцінки інтегрального критерію відстані до цілі з обґрунтуванням ідеалу та оцінкою міри наближення до нього. За величиною комплексної оцінки ( $\mu = 0,308$ ) насамперед перевагу слід надати застосуванню барабанного змішувача з регульованим зміщенням осі камери до горизонтальної осі її обертання. Обрана для подальшого дослідження конструкція дає змогу змішувати сухі компоненти суміші усуваючи явище сегрегації завдяки рухомій камері змішувача, яка повертає важкі та дрібні компоненти, що осіли до загального потоку.

Комбікорми за своєю структурою є багатокомпонентними, тому доцільно виконувати ступеневе змішування при поєднанні компонентів в окремі групи, що близькі за характеристикою у загальній масі порції сумішки. Причому послідовність комплектування груп слід обирати починаючи від менших за вмістом. Мінеральні речовини і премікси вводяться до складу комбікормів у невеликій кількості і потребують високої рівномірності розподілу у загальній масі комбікорму. Цього можна досягти у порційних барабанних змішувачах. Підготовлені і віддозовані білкові корми подаються у змішувач другої стадії, куди як окремий компонент вводиться мікросумішка, одержана на першій стадії. У подальшому одержана сумішка БВМД додається до підготовлених та перемішаних між собою зернових кормів.

Із загальної номенклатури барабанних змішувачів кращі показники за якістю сумішки має змішувач з циліндричною формою камери, вісь симетрії якої зміщена відносно горизонтальної осі обертання, а на внутрішній поверхні камери по твірній циліндра розміщені перемішуючі лопатки.

Похилене розміщення камери забезпечує переміщення матеріалу у трьох напрямках. У площині поперечного перерізу  $XOY$  (рис. 1) переміщення відбувається у радіальному та кутовому вимірах, а у напрямку  $Z$   $\square$  вздовж осі обертання циліндра. При цьому можна виділити зону підіймання (АСВМ) та зону скочування (АСВQ) з центром циркуляції довкола точки С.

Довільно взята частка корму D спочатку рухається поверхнею камери до зони відриву (точка E), а далі скочується за траєкторією EF, зміщуючись при цьому вздовж осі камери на відстань  $l_n$ . Інтенсивність зміни величини зміщення буде варіювати в інтервалі від 0 до  $l_{nmax}$  у кожному півоберті обертання залежно від кута  $\beta$  між віссю симетрії циліндра та віссю обертання. При наступному півперіоді повороту барабана напрям руху вздовж осі  $Z$  зміниться на протилежний, що сприяє інтенсифікації процесу перемішування.

Для запобігання зсуву монолітної маси циркуляційного потоку до торцевих стінок циліндра чи відібраних порцій вздовж лопатки необхідно враховувати кути внутрішнього тертя поверхнею обвалу зернового матеріалу чи зовнішнього тертя по металевій поверхні. Зважаючи на те, що кут тертя  $\varphi$  матеріалу по поверхні циліндра під час обертання є величиною постійною і

залежною лише від фізико-механічних властивостей компонентів, наведена умова стабільності процесу запишеться так:  $\beta < \varphi$ .

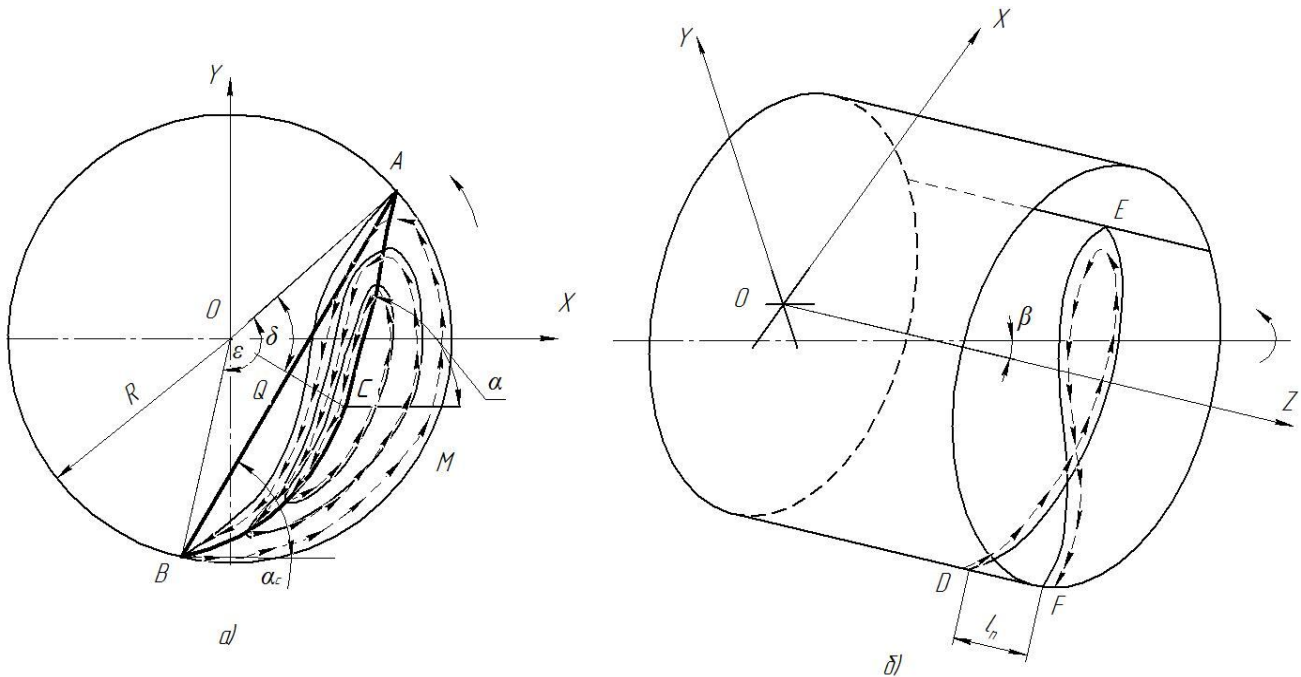


Рис. 1. Схема переміщення сипкого матеріалу у барабанному змішувачі: а – у поперечному перерізі барабана; б – у повздовжньому перерізі.

Для спрощення опису характеру переміщення матеріалу у камері доцільно розчленувати цикл обертання на окремі фази, розглянути стан переміщення у критичних точках та прослідкувати характер переходу у кожній фазі між крайніми положеннями. Можна виділити чотири екстремальні положення камери: крайнє ліве, крайнє праве, вертикальне верхнє і вертикальне нижнє.

У крайньому лівому та правому положеннях, коли обидві осі (обертання і симетрії) розташовані у горизонтальній площині, рух матеріалу у камері можна уподібнювати стану переміщення у барабанних змішувачах порційного типу з горизонтальною віссю обертання. У верхньому та нижньому положеннях, коли вісь симетрії проходить вертикальну площину, поведінка матеріалу подібна до стану розподілу потоків у камері змішувача неперервної дії з нахиленою віссю обертання.

Залежно від заповнення камери та частоти обертання у площині поперечного перерізу барабана можуть мати місце три режими руху матеріалу: рух з обрушенням, циркуляційний рух та закритий режим руху. Для надійного технологічного процесу необхідно дотримуватися циркуляційного режиму руху, коли матеріал із верхніх шарів піднятого моноліту відривається від нижніх шарів і обрушується назад у вільний простір камери, тобто настає взаємопереміщення сипкої маси. При циркуляційному режимі роботи змішуючого барабана кінематичний параметр прийнято подавати через кутову швидкість.

Відповідно до прийнятої схеми будови та роботи змішувача матеріал всередині камери послідовно проходить чотири стадії переміщення: разом із барабаном у монолітному стані, скочування по вільній поверхні матеріалу, рух по перемішувачій лопатці після виходу її із заповненої частини камери та вільне падіння після сходу з лопатки. Перемішування відбувається у межах всього замкнутого простору камери, але залежно від розташування окремої частинки матеріалу у певний період часу вона має відмінні траєкторії руху та величини кінематичних факторів.

На першому етапі дослідження стосувались визначення руху матеріалу в камері, розташування якої уподібнювалось крайнім лівому та правому положенням. Розглядалась камера з гладкою чи відносно гладкою поверхнею, коли виступи на внутрішній поверхні не приводять до виносу матеріалу над відкритою зоною завантаженої маси, а частота обертання барабана обмежується величиною критичної кутової швидкості.

В камері з гладкою поверхнею взаємопереміщення часточок матеріалу в зоні підймання не відбувається. Цю ділянку, в першому наближенні, можна розглядати як монолітну масу і для її опису використовувати рівняння руху твердого тіла, приведеного до матеріальної точки. Такий підхід може бути використаний як для розгляду положення центра маси сегмента матеріалу.

У граничних зонах підймання найважливішою для розрахункових цілей є верхня ділянка – перехід матеріалу із відносно нерухомого стану до стану скочування по відкритій поверхні матеріалу, який характеризується кутом нахилу  $\alpha$  цієї поверхні до горизонту. Кут нахилу матеріалу до горизонту  $\alpha$  дорівнює куту підйому центра мас, на який піднімається матеріал під час руху камери змішувача.

Залежно від коефіцієнта завантаження камери радіус розташування центра мас матеріалу буде змінюватися, що матиме вплив на кут підйому матеріалу. З умови рівноваги діючих сил визначаємо кут  $\alpha$ , на який піднімається матеріал та при якому починається рух часточок по вільній поверхні сегмента, з урахуванням впливу величини заповнення барабану:

$$\alpha = \varphi_3 + \arcsin\left(\frac{2\omega^2 R \sin^3 \delta}{3g \pi k} \sin \varphi\right), \quad (1)$$

де  $\alpha$  – кут нахилу поверхні матеріалу до горизонту, град;

$\varphi_3$  – кут тертя сумішки по внутрішній поверхні барабана, град;

$\omega$  – кутова швидкість,  $c^{-1}$ ;

$g$  – прискорення вільного падіння,  $m/c^2$ ;

$R$  – радіус барабана, м;

$k$  – коефіцієнт заповнення барабана, віднос. од.;

$\delta$  – половина центрального кута сегмента матеріалу, град.

Величина кута  $\alpha$  є вихідною величиною при визначенні кінематичних параметрів робочої камери. Проведені теоретичні дослідження руху матеріалу у змішувачі з нахиленою віссю камери відносно осі обертання, свідчать, що у центральному перерізі кут нахилу  $\beta$  не впливає на кут підняття матеріалу  $\alpha$ , а лише залежить від коефіцієнта заповнення та швидкості обертання.

Після досягнення частинкою матеріалу точки А, починається її рух у нижню зону у напрямку точки В. Для забезпечення циркуляційного руху необхідно, щоб час на подолання хорди АВ наближався до часу підняття часточки по дузі ВА внаслідок тертя матеріалу по металевій поверхні барабана. Визначивши час сходження та час піднімання часточки матеріалу визначили залежність кутової швидкості обертання барабана залежно від кута  $\delta$ , що є мірою заповнення камери барабана. Виразивши коефіцієнт заповнення через кут  $\delta$  та об'єднавши два рівняння у систему, отримали залежність кутової швидкості обертання барабана від коефіцієнта заповнення камери змішування, за якої матиме місце циркуляційний режим руху. Аналогічний метод досліджень застосовано і для визначення залежностей кінематичних та технологічних параметрів при роботі змішувача з нахиленою віссю камери відносно осі обертання:

$$\begin{cases} \omega = \delta \sqrt{\frac{g \cos \beta (\sin \alpha - f \cos \alpha)}{R \sin \delta}}; \\ k = \frac{2\delta - \sin 2\delta}{2\pi}, \end{cases} \quad (2)$$

де  $\beta$  – кут нахилу осі барабана до горизонтальної осі обертання, град.

На підставі системи рівнянь 2 побудовано графіки залежності коефіцієнта заповнення камери змішування від кутової швидкості обертання барабана (рис. 2). Аналіз графічних залежностей свідчить, що для дотримання циркуляційного руху необхідно змінювати кутову швидкість при зміні ступеня заповнення камери. Вплив кута нахилу осі камери на кінетичні та технологічні параметри змішувача кормових добавок незначний, у межах обґрунтованих діапазонів.

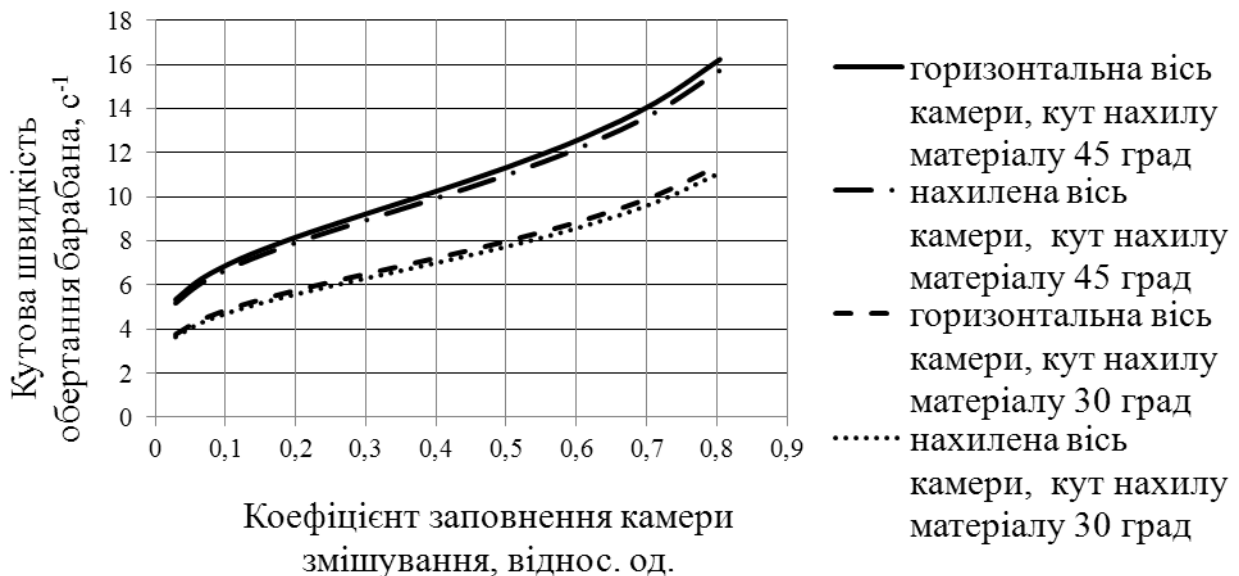


Рис. 2. Залежність коефіцієнта заповнення від кутової швидкості обертання барабана при забезпеченні циркуляційного руху

Ця залежність дає змогу визначити раціональні кінематичні параметри барабанного змішувача, за яких буде забезпечуватися найвища продуктивність обладнання та відповідна до зоотехнічних умов якості кормової суміші, що визначається рівномірністю змішування компонентів.

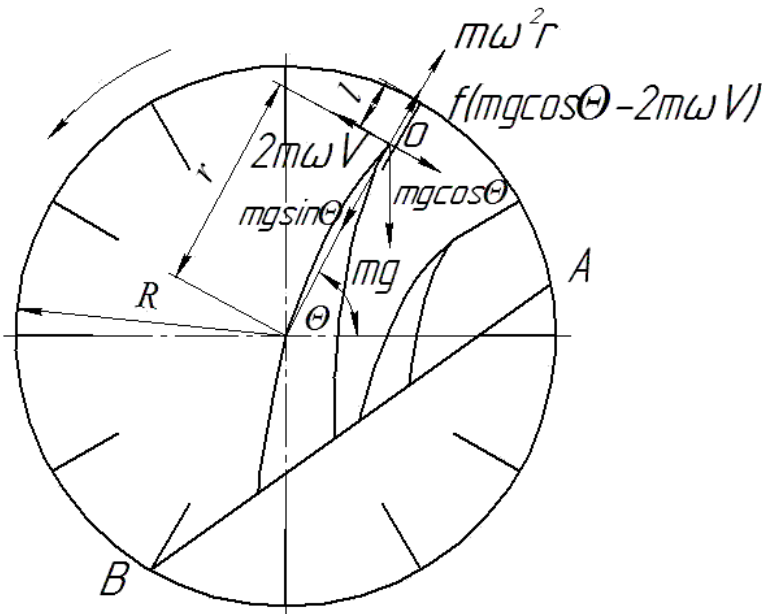


Рис. 3. Схема сил, що діють у поперечному перерізі барабана під час руху по лопатці та падінні

часточки, яка переміщується по лопатці, (рис. 3) та з урахуванням граничних умов можна записати вираз для визначення відносної швидкості скочування  $V$  матеріалу по лопатці:

$$V = \lambda_1 C_1 \exp(\lambda_1 t) + \lambda_2 C_2 \exp(\lambda_2 t) - \frac{g}{2\omega} \sin(\theta + \omega t), \quad (3)$$

де  $V$  – відносна швидкість скочування матеріалу по лопатці, м/с;

$t$  – час розвантаження, с;

$\theta$  – кут виходу лопатки з матеріалу, град;

$C_1, C_2$  – постійні величини диференційного рівняння, м:

$$C_1 = \lambda_2 \left[ R_{\Pi} + \frac{g}{2\omega^2} \cos(\theta + \omega t) - \frac{g}{2\omega\lambda_2} \sin(\theta + \omega t) \right]; \quad (4)$$

$$C_2 = \frac{\lambda_1}{\lambda_2 - \lambda_1} \left[ -\frac{g}{2\omega^2\lambda_1} \cos(\theta + \omega t) - \frac{g}{2\omega} \sin(\theta + \omega t) - R_{\Pi} \right], \quad (5)$$

$\lambda_1, \lambda_2$  – корені характеристичного рівняння,  $\text{с}^{-1}$ :

$$\lambda_1 = \omega(-f + \sqrt{f^2 + 1}); \quad \lambda_2 = \omega(-f - \sqrt{f^2 + 1}), \quad (6)$$

де  $f$  – коефіцієнт зовнішнього тертя, віднос. од.

Ширина перемішуючої лопатки, за якої буде відбуватися повне сходження матеріалу визначатиметься таким виразом:

$$l = R - (C_1 \exp(\lambda_1 t) + C_2 \exp(\lambda_2 t) + \frac{g}{2\omega^2} \cos(\theta + \omega t)) \quad (7)$$

Швидкість, набута часточкою при її сходженні з краю лопатки є початковою при подальшому русі – вільному падінні за параболічними

Наступним етапом пристосування конструкції барабанного змішувача до умов перемішування компонентів було встановлення на робочій поверхні камери нерухомих перегородок, розміщених по твірній циліндра. Встановлення лопаток, з одного боку, поліпшує утримання матеріалу у зоні підймання, запобігаючи його сповзанню, а з іншого – розширює робочу зону перемішування завдяки активізації простору над поверхнею скочування.

З рівняння руху

траєкторіями у незаповненому просторі камери до опускання на поверхню робочого сегмента матеріалу. Розглянувши рівняння траєкторії положення будь-якої часточки при падінні та рівняння верхньої межі завалу визначили довжину відрізка розсіювання матеріалу по вільній поверхні сегменту. Порівнявши його з довжиною хорди сегмента визначаємо ступінь розсіювання часточок по відкритій поверхні матеріалу:

$$\Psi = \frac{tg\alpha - tgy + \sqrt{(tg\alpha - tgy)^2 - \frac{4gR\cos\delta}{V_0^2\cos\gamma^2\cos\alpha} + \frac{4gR_n\cos\varphi tg\alpha}{V_0^2\cos\gamma^2} - \frac{4gR_n\sin\varphi}{V_0^2\cos\gamma^2}}{\frac{4g\cos\alpha R\sin\delta}{V_0^2\cos\gamma^2}} - \frac{R_n\cos\varphi}{2\cos\alpha R\sin\delta} \quad (8)$$

де  $\Psi$  – ступінь розсіювання компонентів по відкритій поверхні матеріалу, м;

$V_0$  – початкова швидкість, м/с;

$R_n$  – радіус траєкторії руху краю лопатки, м;

$\varphi$  – кут нахилу лопатки, град;

$\gamma$  – кут нахилу вектора швидкості до горизонту, град.

Одержана залежність (8) дає змогу оцінити міру заповнюваності довжини вільної поверхні АВ вільно падаючим потоком матеріалу, що визначає якість роботи змішувача кормових добавок.

Для повного розосередження компонентів падаючим потоком, необхідно щоб матеріал, який падає з лопатки в останню чергу, досягав точки сполучення вільної поверхні матеріалу та обичайки барабана.

Для визначення умов повного розсіювання компонентів по вільній поверхні матеріалу необхідно розглядати рівняння руху падіння часточок матеріалу за параболічною траєкторією, рівняння межі завалу та рівняння кола, що описує переріз барабана розташованого горизонтально:

$$\begin{cases} y = r\sin\varphi - r\cos\varphi tgy + xtgy - \frac{g}{2} \left( \frac{r\cos\varphi - x}{V_0\cos\gamma} \right)^2; \\ y = xtga - \frac{R\cos\delta}{\cos\alpha}; \\ R^2 = x^2 + y^2. \end{cases} \quad (9)$$

Проаналізувавши систему (9) визначаємо, що на координату приземлення впливає кутова швидкість обертання барабана та ширина перемішувачої лопатки. Більшість складових рівняння є функцією від кутової швидкості обертання барабану  $\omega$ . Кут нахилу лопатки  $\varphi = \theta + \omega t$ , кут нахилу вектора швидкості до горизонту  $\gamma = \omega t - \arctg \frac{\omega r}{V_r}$ , початкова швидкість сходження

$V_0 = \sqrt{\omega^2 r^2 + V_r^2}$ . Підставивши значення складових та провівши перетворення отримуємо вираз, що встановлює залежність між кінематичними, технологічними та конструкційними параметрами змішувача барабанного типу при якому досягатиметься кращий ступінь розсіювання матеріалу в поверхневих зонах камери. Тим самим покращуючи рівномірність змішування компонентів кормових добавок.

Так як кутова швидкість барабана є сталою, координати падіння можливо регулювати лише шириною лопатки, яка визначається радіусом розташування часточки при сходженні  $l = R - r$ . Використавши розв'язок диференційного рівняння (7) для визначення ширини лопатки та (4) для визначення радіальної швидкості руху часточки по лопатці, запишемо систему рівнянь:

$$\begin{cases} \frac{r \sin(\theta + \omega t - \gamma) + R \cos(\delta - \alpha - \gamma)}{\cos \gamma} - \frac{g}{2} \left( \frac{r \cos(\omega t) - R \sin(\delta - \alpha)}{\sqrt{\omega^2 r^2 + V_r^2 \cos \gamma}} \right)^2 = 0; \\ r = C_1 \exp(\lambda_1 t) + C_2 \exp(\lambda_2 t) + \frac{g}{2\omega^2} \cos(\theta + \omega t); \\ V_r = \lambda_1 C_1 \exp(\lambda_1 t) + \lambda_2 C_2 \exp(\lambda_2 t) - \frac{g}{2\omega} \sin(\theta + \omega t). \end{cases} \quad (10)$$

Графічне рішення системи (9) сходження матеріалу з лопатки та досягнення межі завалу приведено на рисунку 4.

Аналіз критеріїв ефективності підготовки комбікормової сумішки свідчить, що за вагомістю впливу на ефективність її використання у раціонах тварин першочерговим є рівномірність перемішування компонентів.

Оскільки рівномірність комбікормової сумішки визначається як різниця між початковим розподілом компонентів між собою у загальній масі та рівномірністю на кожному етапі її приготування, вираженій коефіцієнтом варіації, то функціональна залежність інтенсивності процесу змішування доцільно подавати як зміну коефіцієнта варіації з часом перемішування. Прив'язуючи коефіцієнт варіації до параметра рівномірності маємо:

$$P = P_{гр} (1 - e^{-k_3 t}), \quad (11)$$

де  $P$  – рівномірність змішування у будь-який момент часу, %;

$P_{гр}$  – граничне значення рівномірності, за якої показники рівномірності сумішки досягають верхньої межі і у подальшому не поліпшуються, %;

$t$  – тривалість змішування, с;

$k_3$  – швидкість перерозподілу компонентів  $s^{-1}$ .

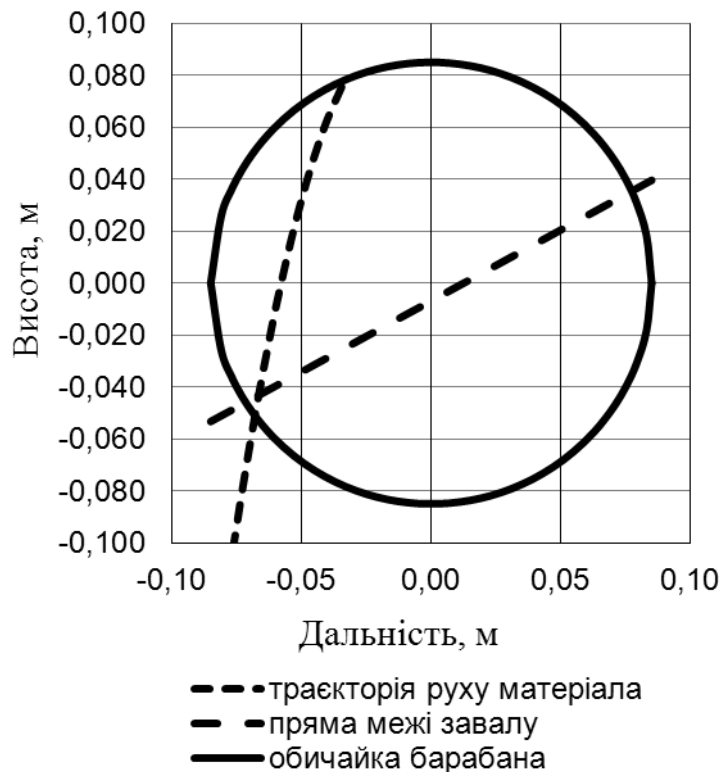


Рис.4. Графічне рішення системи (9)

Необхідна тривалість змішування  $t$ , при заданому значенні рівномірності  $P$ , що прийнятий відповідно до зоотехнічних норм визначає така функціональна залежність:

$$t = \frac{1}{k_3} \ln \left( 1 - \frac{P}{P_{гр}} \right). \quad (12)$$

Отже, розроблено кінетичні рівняння процесу змішування кормосумішок, які можуть бути використані для визначення кінематичних параметрів змішувачів сухих сумішок комбікормових добавок.

У третьому розділі «Програма та методика експериментальних досліджень» наведено програму та методику проведення досліджень, оброблення результатів експериментів, описано експериментальну установку.

Програмою досліджень передбачалося визначення фізико-механічних властивостей компонентів, що використовувалися для приготування сумішок, визначення залежності показника рівномірності від таких основних параметрів барабанного змішувача, як частоти обертання барабана, кут нахилу лопатки, коефіцієнт заповнення камери, тривалість змішування, кількість перемішуючих лопаток, ширина лопатки, нахил лопатки, а також встановлення раціональних параметрів процесу змішування методами регресійного аналізу. При цьому за критерії оцінки прийнято рівномірність сумішки.

Згідно з програмою експериментальних досліджень розроблена конструкція установки, схема якої наведена на рис. 5. Всередині камери по всій її довжині і рівномірно по периметру встановлено лопатки.

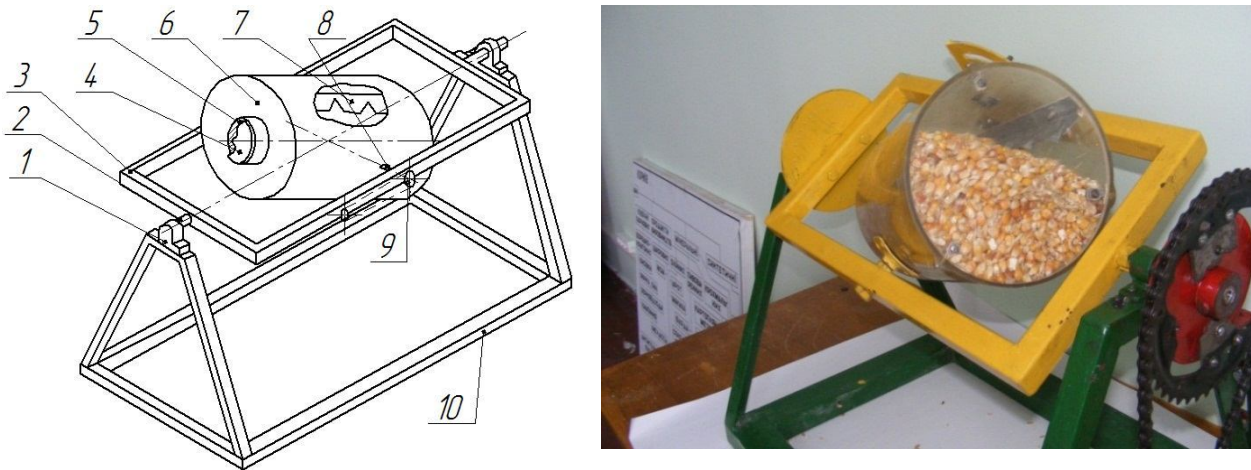


Рис. 5. Принципова схема барабанного змішувача та загальний вигляд установки під час роботи: 1 – підшипникові вузли; 2 – цапфи рамки; 3 – рамка; 4 – кришка; 5 – вікно; 6 – камера; 7 – лопатка; 8 – цапфа камери; 9 – механізм нахилу камери; 10 – опорна рама.

Як компоненти кормових добавок у дослідах використовували продукти подрібнення зерна ячменю, пшениці, гороху, вівса та мінеральні речовини (сіль, крейда). Контрольним компонентом був порошок чавуну з розміром частинок 0,2–1 мм, що зіставляється з інтервалом розміру частинок комбікормових добавок.

Наведено методику оброблення експериментальних даних за допомогою пакета прикладних програм Microsoft Excel 2003 та Wolfram Mathematica v.7 та статистичної оцінки достовірності результатів досліджень процесу змішування компонентів кормових сумішок із застосуванням регресійних моделей. Рівні варіювання досліджуваних факторів при дослідженні змішувача кормових добавок барабанного типу з нахилоною віссю камери відносно горизонтальної осі обертання наведено в табл. 1.

Таблиця 1

## Рівні варіювання факторів

Показник	Позначення	Межі варіювання		
Кут нахилу осі барабана, град	$\beta$	10	17,5	25
Ширина лопатки, мм	$S$	20	30	40
Кількість лопаток, шт	$N$	6	9	12
Кут нахилу лопатки, град	$\alpha$	0	15	30
Коефіцієнт заповнення камери	$k$	0,4	0,5	0,6
Період змішування, с	$t$	120	240	360

У четвертому розділі «Аналіз результатів експериментальних досліджень» наведено результати визначення фізико-механічних властивостей компонентів зерна і добавок, експериментальних досліджень впливу конструктивних та кінематичних параметрів барабанного змішувача на якісний показник його роботи – рівномірності одержаної сумішки.

Попередніми однофакторними дослідженнями визначалися раціональні зони впливу кінематичного режиму на тривалість та якісні показники сумішки. Збільшення частоти обертання в інтервалі  $n = 0,55 \square 0,85 \text{ c}^{-1}$  поліпшує рівномірність за прямолінійною залежністю. Подальше підвищення частоти порушує технологічну надійність роботи.

Змішування компонентів протягом перших 120 с дає змогу досягти нижньої межі допустимої рівномірності. У подальшому інтенсивність поліпшення спадає і у зоні  $400 \square 500 \text{ с}$  настає стабілізація показника якості. Встановлено, що значення максимального рівня рівномірності змішування становить  $R_{\text{гр}} - 0,98$ , швидкість перерозподілу компонентів –  $k_3 = \square 0,017128 \text{ c}^{-1}$ . На рисунку 6 наведено експериментальну та теоретичну залежність рівномірності змішування кормових компонентів від терміну змішування.

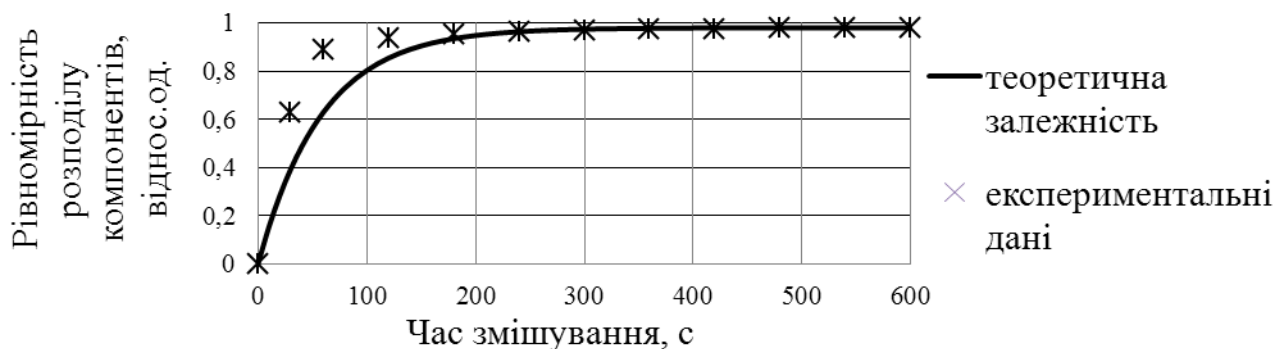


Рис. 6. Кінетика процесу змішування

Рівень наближення теоретичних та експериментальних досліджень оцінено індексом детермінації, який становить  $\eta^2=0,92$ . Отримані результати дають змогу стверджувати про можливість застосування залежності (12) для виконання теоретичного моделювання параметрів роботи змішувача барабанного типу.

Взаємодію з названими іншими факторами процесу змішування (кут зміщення осі барабана, коефіцієнт заповнення камери, ширина, кількість та нахил перемішуючих лопаток) визначали шляхом проведення багатофакторних експериментів.

Після оброблення даних багатофакторних експериментів та розкодування рівняння регресії одержано наступне рівняння:

$$P = 77,78 - 10,38 \cdot k - 3,20 \cdot k^2 - 0,87 \cdot N + 1,31 \cdot k \cdot N + 0,04 \cdot S + 0,35 \cdot k \cdot S + 0,09 \cdot t - 23,18 \cdot \alpha - 3,15 \cdot k \cdot \alpha + 0,27 \cdot N \cdot \alpha + 0,06 \cdot S \cdot \alpha + 9,87 \cdot \alpha^2 + 72,51 \cdot \beta - 16,04 \cdot k \cdot \beta + 0,57 \cdot N \cdot \beta - 0,35 \cdot S \cdot \beta - 0,5 \cdot t \cdot \beta + 22,57 \cdot \alpha \cdot \beta - 68,13 \cdot \beta^2. \quad (13)$$

Ця математична модель характеризує залежність рівномірності приготовленої сумішки барабанного змішувача від досліджуваних факторів. Її аналіз свідчить, що показник рівномірності  $P$  визначається, насамперед, кутом нахилу осі барабана  $\beta$  та коефіцієнт заповнення камери  $k$ . Інші фактори (ширина лопатки  $S$ , їх кількість  $N$  та кут  $\alpha$  нахилу лопаток менше впливають на рівномірності сумішки).

За одержаною математичною моделлю побудували просторові поверхні відгуку, їх плоскі перерізи у вигляді графічних залежностей та сукупність ліній рівного значення показника рівномірності при попарному групуванні діючих факторів та фіксації значень інших чотирьох факторів. Для прикладу на рис. 7 зображена залежність, яка характеризує зміни рівномірності від кута нахилу барабана  $\beta$  та періоду змішування  $t$ . Зона мінімальних значень рівномірності припадає на поєднання нижніх меж інтервалу  $\beta$  і  $t$ . При їх збільшенні поверхня набуває опуклої форми, а у верхніх межах спостерігається тенденція до погіршення рівномірності. Причому на поліпшення рівномірності більш суттєво впливає тривалість змішування. Рівномірність може змінюватись від 89 до 97 %.

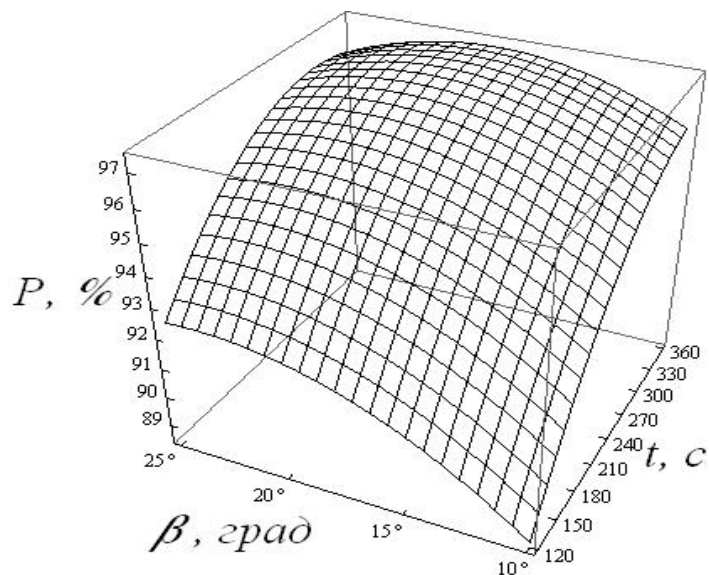


Рис. 7. Просторова залежність рівномірність сумішки  $p$  від кута нахилу  $\beta$  осі барабана та періоду змішування  $t$  при  $k = 0,6$ ;  $S = 30$  мм;  $N = 9$  шт.;  $\alpha = 15$  град.

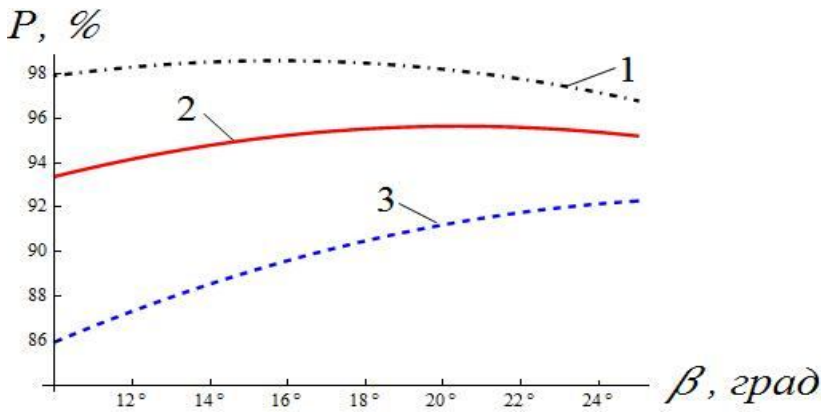


Рис. 8. Залежність рівномірності сумішки  $p$  від кута нахилу осі барабана  $\beta$  при таких поєднаннях фіксованих факторів:

- 1  $\square S = 30$  мм;  $N = 12$  шт.;  $\alpha = 0^\circ$ ;  $k = 0,55$ ;  $t = 360$  с;
- 2  $\square S = 40$  мм;  $N = 8$  шт.;  $\alpha = 15^\circ$ ;  $k = 0,45$ ;  $t = 240$  с;
- 3  $\square S = 20$  мм;  $N = 6$  шт.;  $\alpha = 25^\circ$ ;  $k = 0,4$ ;  $t = 120$  с.

різним видам тварин, застосовувався метод картографії з перетином поверхні відгуку площинами, паралельними горизонтальній площині координатної системи. Для досліджуваних умов це будуть лінії рівного значення показника рівномірності (рис. 9).

Лінії зміни рівномірності підтверджують, що при куті  $\beta = 10^\circ$  вже після 120 с змішування показник рівномірності досягає 89 %. Подальше збільшення  $\beta$  і  $t$  поліпшує рівномірність розподілу компонентів у сумішці. Ширина робочої площини перемішуючої лопатки суттєво не впливає на однорідність сумішки. Графіки зміни коефіцієнта рівномірності при зміні кута відхилення лопатки від радіального положення, свідчать про погіршення рівномірності. На основі аналізу створених математичних моделей процесу змішування компонентів комбікормів лабораторною установкою барабанного змішувача та їх графічної інтерпретації визначили раціональні

Екстремальна ділянка поверхні відгуку розташовується у точці ( $\beta = 19^\circ$ ;  $t = 300$  с).

Діапазон зміни кутів  $\beta = 16 \square 20^\circ$  (рис. 8) є раціональною зоною насичення при тривалості змішування не менше 240 с. При цьому можна досягти рівномірності 95  $\square$  98 %, що задовольняє зоотехнічним вимогам для всіх груп тварин.

Для встановлення раціонального поєднання змінних параметрів, що пов'язано з необхідністю приготування сумішок

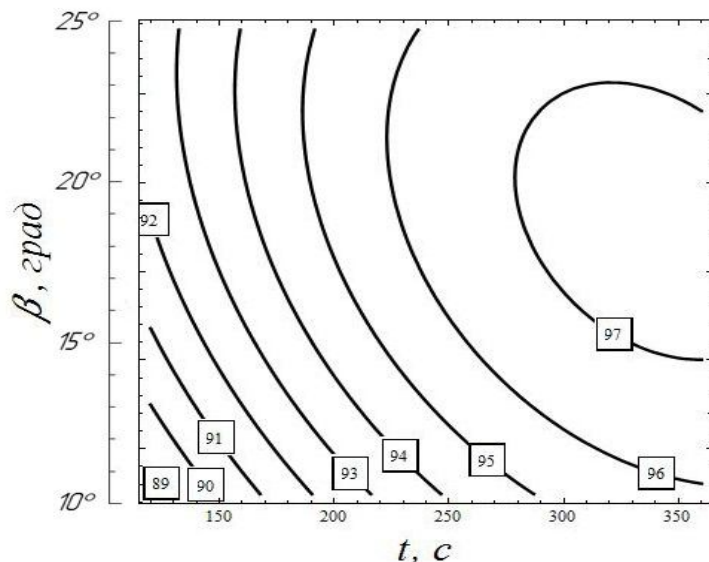


Рис. 9. Лінії рівного значення показника рівномірності процесу змішування  $p$  при змінних  $\beta$  і  $t$ . Фіксовані величини:  $k = 0,6$ ;  $S = 30$  мм;  $N = 9$  шт.;  $\alpha = 15$  град

параметри і режими роботи.

Величини технічної характеристики цієї установки вирізняються від технічних характеристик натурних зразків змішувачів цього типу, які мають бути створені для використання у складі ліній технологічного обладнання фермерських комбікормових агрегатів. Залежно від потреби у комбікормах для різних господарств постає необхідність мати три типорозміри барабаних змішувачів із місткістю робочої камери 0,05; 0,2 та 0,5 м<sup>3</sup>.

У п'ятому розділі «Виробнича перевірка та економічна ефективність» наведено результати виробничої перевірки якості роботи та обчислення економічної ефективності впроваджених технології та технічного засобу приготування комбікормів. Виробнича перевірка здійснювалась у ВП НУБіП України НДГ «Агрономічна дослідна станція» для розроблення проектної документації на технологічну лінію з приготування комбікормів із стадійним змішуванням, яка була скомплектована і змонтована у кормоприготувальному пункті тваринницької ферми. План розміщення засобів механізації у приміщенні та загальний вигляд кормоцеху наведено на рис. 10.

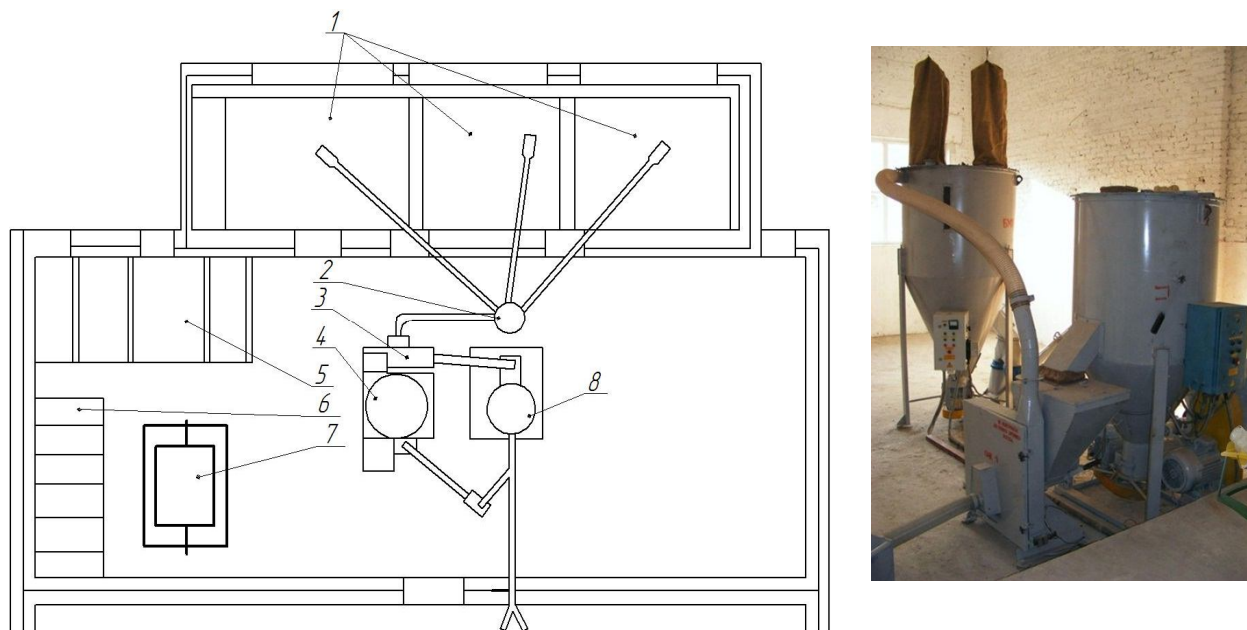


Рис. 10. План розміщення засобів механізації у приміщенні: 1 □ накопичувачі зерна; 2 – пневмозабірник; 3 – дробарка; 4 □ блок БМВД; 5 □ накопичувачі мікродобавок; 6 – накопичувачі преміксів та блендів; 7 – блок мікросумішок; 8 – змішувач комбікорму.

За період випробувань для потреб господарства виготовлено близько 3600 т комбікормів. Продуктивність обладнання становила 0,8□1,2 т/год. Показник рівномірності сумішки добавок досягав 95□97 %, а сумішки збалансованих комбікормів – 94,5□96 %, що перевищує допустимі вимоги згідно з зоотехнічними нормами.

Розрахунки ефективності впровадження технологічної лінії із ступеневим приготуванням сумішок комбікормів у господарстві свідчать, що при потребі 2 т/добу очікуваний річний економічний ефект становить 15,3 тис. грн.

## ВИСНОВКИ

У дисертації теоретично та експериментально обґрунтовано раціональні кінематичні, конструкційні та технологічні параметри змішувача кормових добавок барабанного типу з нахилою віссю камери відносно горизонтальної осі обертання при використанні трьох стадійної схеми змішування, що дало змогу покращити рівномірність готової суміші кормових добавок та підвищити ефективність використання кормів.

1. Аналіз технологічних процесів роботи фермерських комбікормових агрегатів і їх оцінка щодо відповідності одержаної комбікормової сумішки зоотехнічним вимогам свідчить про необхідність дооснастки обладнанням для приготування сумішок кормових добавок. Раціональний варіант фермерського комбікормового агрегату має передбачати тристадійне змішування з приготуванням на першій стадії сумішок мікродобавок, на другій – сумішок білково-вітамінно-мінеральних добавок і на третій стадії – готових комбікормів.

2. Аналіз способів та технічних засобів змішування сипучих матеріалів, а також комплексна оцінка змішувачів підтвердили, що для виготовлення сумішок комбікормових добавок доцільно використовувати порційний змішувач з обертовою камерою, вісь якої зміщена на регульований кут нахилу, у якій будуть відсутні застійні зони.

3. Встановлено, що умови технологічної надійності роботи порційного барабанного змішувача у циркуляційному режимі залежать від величини кута початку скочування частинок по вільній поверхні матеріалу у камері, коефіцієнта заповнення камери, кутової швидкості її руху, тривалості та швидкості переміщення матеріалу при скочуванні, ширини перемішуючої лопатки, періоду вільного падіння з перемішуючої лопатки та відносної довжини циліндричної частини камери.

4. Рівномірність розподілу компонентів у суміщі відповідно до зоотехнічних вимог (95–98 %) визначається конструкційними та технологічними факторами. Встановлено, що раціональними параметрами барабанного змішувача є:

- коефіцієнт заповнення камери – 0,5–0,6;
- частота обертання барабана – 1,6–1,7 с<sup>-1</sup>;
- кут нахилу осі барабана до осі обертання – 16–20 град;
- кількість перемішуючих лопаток – 9 шт.;
- ширина лопатки 0,18–0,21 діаметра камери;
- положення лопатки – радіальне;
- період змішування у камері – 240–360 с.

5. Виробнича перевірка розробленої технології приготування комбікормів у НДГ «Агрономічна дослідна станція» протягом 2008–2013 рр. свідчить, що показник рівномірності сумішки добавок досягав 95–97 %, а повноцінних комбікормів – 94,5–96 %. Очікуваний річний економічний ефект від впровадження одного екземпляра установки за добової потреби у комбікормах близько 2 т становить 15,3 тис. грн.

## СПИСОК ОПУБЛІКОВАНИХ ПРАЦЬ ЗА ТЕМОЮ ДИСЕРТАЦІЇ

### *Статті у наукових фахових виданнях України*

1. Ачкевич О. М. Аналіз історико-технічної генези створення засобів механізації приготування кормових сумішок на тваринницьких фермах / О. М. Ачкевич // Вісник Львівського національного аграрного університету: Агроінженерні дослідження. – 2008. – Т.1, № 12. – С. 634–641.

2. Ачкевич О. М. Становлення і розвиток в Україні науково-виробничої бази по створенню технологічного обладнання для приготування кормосумішок на свинофермах / О. М. Ачкевич // Вісник Харківського національного технічного університету сільського господарства імені Петра Василенка: «Вдосконалення технологій та обладнання виробництва продукції тваринництва». – 2009. – Вип. 79. – С. 90–97.

3. Хмельовський В. С. Класифікація багатофункціональних роздавачів-змішувачів / В. С. Хмельовський, О. М. Пилипенко, О. М. Ачкевич // Вісник Харківського національного технічного університету сільського господарства імені Петра Василенка: «Вдосконалення технологій та обладнання виробництва продукції тваринництва». – 2009. – Вип. 79. – С. 286–294. *(Здобувач проаналізувала конструкції багатофункціональних роздавачів змішувачів).*

4. Ачкевич О. М. Обґрунтування технічних засобів для приготування сумішок комбікормових добавок на фермах / О. М. Ачкевич // Науковий вісник національного університету біоресурсів і природокористування України. – 2009. – Вип. 140. – С. 314–321.

5. Сорокін В. М. Вибір параметричних ознак змішувачів комбікормових добавок в умовах тваринницьких ферм / В. М. Сорокін, О. М. Ачкевич. // Науковий вісник національного університету біоресурсів і природокористування України. Серія «Техніка та енергетика АПК». – 2010. – Вип. 144, Ч. 2. – С. 181–188. *(Здобувач описала процес роботи барабанного змішувача та виділила параметричні ознаки з підвищення рівномірності одержаного продукту).*

6. Ревенко І. І. До обґрунтування математичної моделі процесу приготування сумішок білково-вітамінно-мінеральних комбікормових добавок / І. І. Ревенко, О. М. Ачкевич // Науковий вісник національного університету біоресурсів і природокористування України. Серія «Техніка та енергетика АПК». – 2010. – Вип. 144, Ч. 3. – С. 42–52. *(Здобувач проаналізувала існуючі дослідження зі змішуванням сипучих матеріалів).*

7. Ачкевич О. М. Формування наукових поглядів про раціональні властивості подрібнених кормів як підґрунтя до вдосконалення фермських комбікормових агрегатів / О. М. Ачкевич, В. С. Хмільовський // Науковий вісник національного університету біоресурсів і природокористування України. Серія «Техніка та енергетика АПК». – 2011. – Вип. 166, Ч. 2. – С. 259–266. *(Здобувач проаналізувала вплив механізованих технологій приготування кормів на якісні показники готових кормосумішок).*

8. Ачкевич О. М. Обґрунтування вибору типу змішувача комбікормових добавок / Науковий вісник Національного університету біоресурсів і природокористування України. Серія «Техніка та енергетика АПК». – 2012. □ Вип. 170, Ч. 2. – С. 263–271.

#### *Стаття у науковому виданні іншої держави*

9. Ревенко И. И. Анализ процесса смешивания кормовых компонентов в смесителе барабанного типа / И. И. Ревенко, О. Н. Ачкевич // Motrol. Commission of Motorization and Energetics in Agriculture. — Lublin, 2013. — Vol. 15, № 3. — P. 28–38. *(Здобувач одержала залежність зміни рівномірності сумішки від конструкційних та технологічних параметрів).*

#### *Статті в інших виданнях*

10. Пилипенко О. М. Внесок колективу науковців та конструкторів ВНДІТВМаш у розробку комплектів машин для приготування кормосумішок на тваринницьких фермах / О. М. Пилипенко, О. М. Ачкевич // Питання історії науки і техніки, 2010. – № 3. – С.31–41. *(Здобувач проаналізувала внесок колективу ВНДІТВМаш у розвиток засобів для приготування кормових сумішок).*

11. Войтюк Д. Г. Дослідження історії розвитку засобів приготування кормосумішок в контексті системного підходу до вивчення еволюції годівлі тварин / Д. Г. Войтюк, О. М. Ачкевич // Питання історії науки і техніки. – 2010. – № 4. – С.23–32. *(Здобувач використала метод системного підходу для дослідження впливу зовнішніх факторів на історію становлення машинної технології приготування кормових сумішок).*

12. Ачкевич О. М. Періодизація історії механізації приготування кормових сумішок в тваринництві України / Історія науки і бібліографістики. – 2010. – № 2. – Режим доступу до статті: [inb.dnsgb.com.ua/2010-2/10\\_achkevych.pdf](http://inb.dnsgb.com.ua/2010-2/10_achkevych.pdf)

#### *Патенти*

13. Деклараційний патент на корисну модель. 3815 Україна. МПК В 01 F 9/00.Змішувач періодичної дії / Пилипенко О. М., Чибис С. М., Коваленко О. М.; заявник та патентовласник Національний аграрний України. – U2004032019; заявл. 18.03.2004, опубл. 15.12.2004, Бюл. № 12. *(Здобувач*

здійснила патентний пошук та запропонувала конструкцію змішувача періодичної дії).

14. Патент на корисну модель 29836, Україна, В01F 7/24. Змішувач кормів / Ревенко І. І., Ревенко Ю. І., Ачкевич О. М.; заявник та патентовласник Національний університет біоресурсів і природокористування України. □ № U200711601; заявл. 22.10.2007; опубл. 25.01.2008, Бюл. № 6. *(Здобувач здійснила патентний пошук та запропонувала конструкцію змішувача кормів).*

15. Патент на корисну модель 29837, Україна, В01F 7/24. Відцентровий змішувач сипких компонентів / Ревенко І. І., Ачкевич О. М., Ревенко Ю. І.; заявник та патентовласник Національний університет біоресурсів і природокористування України. □ № U200711602; заявл. 22.10.2007; опубл. 25.01.2008, Бюл. № 6. *(Здобувач здійснила патентний пошук та запропонувала конструкцію відцентрового змішувача).*

16. Патент на корисну модель 29869, Україна, В01F 7/24. Відцентровий змішувач сипких компонентів / Ревенко І. І., Ачкевич О. М., Ревенко Ю. І.; заявник та патентовласник Національний університет біоресурсів і природокористування України. □ № U200711884; заявл. 29.10.2008; опубл. 25.01.2008, Бюл. № 11. *(Здобувач здійснила патентний пошук).*

17. Патент на корисну модель 50506, Україна, В01F 7/26. Змішувач відцентровий / Ревенко І. І., Ревенко Ю. І., Ачкевич О. М., Ружи́ло З. В.; заявник та патентовласник Національний університет біоресурсів і природокористування України. □ № U200913863; заявл. 29.12.2009; опубл. 10.06.2010, Бюл. № 11. *(Здобувач здійснила патентний пошук та запропонувала конструкцію змішувача).*

### *Матеріали конференції*

18. Ачкевич О. М. Еволюція технології та технічних засобів приготування комбікормових сумішок на тваринницьких фермах України. / *Materials IV Międzynarodwej naukowo-praktycznej konferencji «Nauka i inowacja – 2008» 07–15 października 2008 roku. Nym 8 / Prawo, Historia. – Przemysł: Nauka i studia. 2008. – С. 82–86.*

19. Ачкевич О. М. Динаміка процесу створення і реалізації технічних знань з виробництва кормових сумішок на Україні / *Матеріали за IV Международна научна практична конференция. Образование и наука на 21 от век. 17–25 октомври 2008 г. Т.7 – София «Бял ГРАД ООД», 2008. – С. 86–88.*

20. Ачкевич О. М. Історичні аспекти становлення біотехнологічних та техніко-економічних передумов розвитку механізованих технологій годівлі тварин кормосумішками / *Materials IV Mezinardni vedecko-prakticka conference «Zpravy vedecke ideje–2008», 27.11–05.11.2008. Dil 9 Historie. – Praha: Pablising House «Education and Science» s.r.o., 2008. – С. 27–28.*

21. Ачкевич О. М. До питання створення музейної експозиції комплектів машин з приготування виробництва кормо сумішок для тварин / *Матеріали II Міжнародної науково-практичної конференції «Технічний музей: історія, досвід, перспективи». – К., 2010. – С.263–271.*

22. Ачкевич О. М. Побудова системної моделі функціонування виробничого процесу приготування комбікормів / Вісник Харківського національного технічного університету сільського господарства імені Петра Василенка: «Вдосконалення технологій та обладнання виробництва продукції тваринництва». □ X., 2013. □ Вип. 132. – С. 384–391.

23. Ачкевич О. М. Результати експериментальних досліджень роботи змішувача БМВД / Тези доповідей Міжнародної конференції науково-педагогічних працівників, наукових співробітників та аспірантів «Проблеми та перспективи розвитку технічних та біоенергетичних систем природокористування», присвяченої 200-річчю з дня народження Т. Г. Шевченка під гаслом «І чужому навчайтесь, й свого не цурайтесь...». – К., 2014. – С.22.

24. Ачкевич О. М. До обґрунтування змішувача білково-вітамінних та мінеральних добавок / Матеріали ХХІІ Міжнародної науково-технічної конференції «Технічний прогрес у сільськогосподарському виробництві» та ІХ Всеукраїнської конференції-семінару аспірантів, докторантів та здобувачів у галузі аграрної інженерії 21 □ 23 травня 2014 року. – Глеваха, 2014. – С.142–143.

25. Ачкевич О. М. Обґрунтування технологічної схеми виробництва комбікормів в умовах господарств / О.М. Ачкевич, В.М. Жученко // Вісник Харківського національного технічного університету сільського господарства імені Петра Василенка: «Вдосконалення технологій та обладнання виробництва продукції тваринництва». – Х.: 2014. □ Вип. 144. – С. 123–127. *(Здобувач запропонувала технологічну схему виробництва комбікормів в умовах господарств).*

## АНОТАЦІЯ

**Ачкевич О. М. Обґрунтування параметрів змішувача кормових добавок барабанного типу. – На правах рукопису.**

Дисертація на здобуття наукового ступеня кандидата технічних наук за спеціальністю 05.05.11 – машини і засоби сільськогосподарського виробництва. – Національний університет біоресурсів і природокористування України, Київ, 2015.

Дисертація присвячена обґрунтуванню технології виробництва комбікормів на фермах при виготовленні сумішок із компонентів добавок перед змішуванням із зерновими кормами та дослідженню процесу роботи барабанного змішувача, що дає змогу підвищити поживну цінність комбікорму.

На основі аналізу існуючих технологій приготування комбікормів пропонується виконувати ступеневе змішування з поєднанням кормових компонентів, близьких за кількістю у загальній масі порції сумішки, в окремі групи з послідовністю комплектування груп починаючи від менших за вмістом. Аналізуючи технічні засоби змішування сипучих кормів і їх відповідність вимогам одержання сумішок з високою однорідністю компонентів, запропонована конструктивна схема барабанного змішувача порційного типу з циліндричною формою камери, вісь симетрії якої зміщена відносно

горизонтальної осі обертання. Розрахунок вагомості впливу на мінімізацію витрат показників процесу змішування свідчить про доцільність дослідження критерію рівномірності сумішки. Аналітичні дослідження дали змогу визначити функціональні залежності, що описують процес перемішування на різних етапах його ведення та обґрунтувати зону питань для проведення експериментів. В результаті експериментальних досліджень, проведених згідно із загальноприйнятими та розробленими методиками, визначено параметри і режими роботи барабанного змішувача, який забезпечує технологічну надійність ведення процесу та необхідну рівномірність розподілу компонентів у сумішці.

Виробнича перевірка та економічні розрахунки свідчать про доцільність застосування ступеневої технології та розробленого змішувача на тваринницьких фермах.

**Ключові слова:** комбікорм, кормові добавки, технологічна лінія, тристадійне змішування, поперечні та повздовжні потоки матеріалу, барабан з перемішувачами лопатками, параметри процесу змішування, рівномірність сумішки.

## АННОТАЦІЯ

**Ачкевич О. Н. Обоснование параметров смесителя кормовых добавок барабанного типа. – На правах рукописи.**

Диссертация на соискание ученой степени кандидата технических наук по специальности 05.05.11 – машины и средства сельскохозяйственного производства. □ Национальный университет биоресурсов и природопользования Украины, Киев, 2015.

Диссертация посвящена обоснованию технологии производства комбикормов на фермах при изготовлении смесей из компонентов добавок перед их введением в зерновые корма и исследованию процесса работы барабанного смесителя, что обеспечивает возможность повышения питательной ценности комбикорма.

Расширение производства комбикормов в условиях сельскохозяйственных предприятий и получения от их скармливания максимального количества животноводческой продукции зависит от совершенства механизированных технологий и технических средств измельчения и смешивания кормовых компонентов.

Обзор известных технологий приготовления комбикормов и существующих средств получения смесей сыпучих кормовых материалов позволяет сделать вывод о недостаточном обосновании рациональной структуры фермерских комбикормовых агрегатов и конструктивно-технологической схемы смесителей кормовых добавок. Проведенная комплексная технико-экономическая оценка технологии и средств позволили установить целесообразность проведения ступенчатого смешивания с объединением в отдельные группы кормовых компонентов, близких по содержанию в общей массе порции смеси и с последовательностью

комплектования групп начиная с менее вместительных компонентов. Сопоставление конструкций смесителей и их соответствия требованиям получения смесей с высокой равномерностью распределения компонентов позволило рекомендовать конструктивную схему барабанного смесителя порционного типа с цилиндрической формой камеры, ось которой смещена относительно горизонтальной оси вращения. Выбор рационального типа смесителя для приготовления комбикормов добавок осуществлено путем проведения комплексной оценки различных конструкций по методу оценки интегрального критерия расстояния к цели с обоснованием идеала и оценкой степени приближения к нему. Выбранная для дальнейшего исследования конструкция позволяет смешивать сухие компоненты смеси, устраняя явление сегрегации благодаря подвижной камере смесителя, которая возвращает осевшие тяжелые и мелкие компоненты к общему потоку. Анализ структуры затрат на получение комбикорма показал, что применительно к вопросам, связанным с процессом приготовления смесей добавок, приоритетным показателем является повышение равномерности распределения компонентов. Поэтому исследованиями принято направление повышения критерия равномерности смеси.

Аналитическими исследованиями представлены функциональные зависимости, описывающие процесс на разных участках смешивания потоков: в зоне скатывания, движения по лопатке, отрыва от нее и свободного падения в циркулирующую массу материала, позволяющие определить кинематические и конструктивные параметры смесителя, а также обосновать перечень вопросов для проведения экспериментов. Усовершенствована математическая модель, которая связывает угловую скорость вращения с коэффициентом заполнения камеры и углом наклона оси барабана и позволяет установить условия циркуляционного движения, получило развитие разработка математической модели, которая устанавливает взаимосвязь между шириной перемешивающей лопатки, угловой скоростью вращения барабана и коэффициентом заполнения и позволяет получить значения параметров барабанного смесителя при которых достигается максимальный рассев материала с лопаток по поверхности рабочего сегмента смеси.

Экспериментальными исследованиями, проведенными в соответствии с общепринятыми и разработанными методиками, определены параметры и режимы работы барабанного смесителя, который обеспечивает технологическую надежность выполнения процесса смешивания кормовых добавок и требуемую равномерность распределения компонентов в общей массе смеси. Полученные аналитическим и экспериментальным путем результаты исследований, расчетным путем приведены к количественным величинам, соответствующих типоразмерному ряду смесителей добавок, рекомендуемых для комбикормовых агрегатов ферм с различной суточной потребностью в кормах.

Производственная проверка и экономические расчеты показали целесообразность применения ступенчатой технологии работы фермерских комбикормовых агрегатов и разработанного барабанного смесителя добавок на

животноводческих фермах. Равномерность смеси составляет 95–97 %, а годовой экономический эффект от внедрения разработок при суточной потребности 2 т равен 15,3 тыс. грн.

**Ключевые слова:** комбикорм, кормовые добавки, технологическая линия, трехступенчатое смешивание, поперечные и продольные потоки материала, барабан с перемешивающими лопатками, параметры процесса смешивания, равномерность смеси.

## ANNOTATION

**Achkevych O. Justification parameters of the mixer drum feed additives. – Manuscript.**

Dissertation on the receipt of scientific degree of candidate of technical sciences, specialty 05.05.11 - machines and mechanization of agricultural production. – National University of Life and Environmental Sciences of Ukraine, Kyiv, 2015.

The thesis is devoted to substantiation technologies feed production on farms in the manufacture of the components of the mixed additives before mixing with grain feed and investigation process of the drum mixer, which allows increasing the nutritional value of feed.

On the basis of existing technologies preparation of animal feed mixing sedate invited to perform with a combination of feed components are similar in number to the total mass portions mixture feed in separate groups with sequence acquisition groups ranging from smaller content. Analyzing hardware mixing dry feed and their compliance with the mixed reception of high uniformity components offered constructive scheme drum batch mixer type cylindrical chamber symmetry axis of which is shifted relative to the horizontal axis of rotation. Calculating the weight of the impact on cost minimization mixing process indicators suggests feasibility study criterion uniformity mixture feed. Analytical studies helped to identify functional relationships that describe the mixing process at different stages of his conduct and justify zone issues for experiments. As a result of experimental studies conducted in accordance with generally accepted and developed techniques defined parameters and modes drum mixer, which provides technological reliability of process and necessary even distribution of components in mixture feed.

The production test and economic calculations show the feasibility of the technology and developed stepwise mixer on livestock farms.

**Keywords:** feed additives, processing line, three-stage mixing, transverse and longitudinal flow of material, the drum with mixing blades, the parameters of the mixing process, the uniformity of the mixture.

