

simplifies the design of the pneumatic seeding system, eliminates the difference in the lengths of the air ducts and reduces their length, which eliminates their inflections in the process of the drill.

The conducted researches allowed to establish the dependences, the analysis of which showed that with increasing the number of seeders the unevenness of the differences in the sowing machines increases, which leads to the unevenness of sowing the seeds.

For drills with a collector, this is explained by the fact that with increasing uniformity, the variation of air duct lengths and pressure losses in them increases. In this case, an increase in the coefficient of variation of the non-uniformity of propagation is observed when the coefficient of hydraulic resistance of the sowing machine decreases, since its value becomes comparable with the coefficient of hydraulic resistance and the non-uniformity of lengths. As the coefficient increases, the effect of the unevenness of the air duct lengths weakens due to the decrease in the fraction of air duct resistance in the total resistance of the pneumatic system.

For drills with a receiver, the variation in the level of rarefaction in the receiver increases with increasing uniformity, which leads to uneven distribution in the sowing machines. At the same time, a decrease in the coefficient of variation is observed with an increase in the diameter of the receiver and an increase in the coefficient of hydraulic resistance of the sowing machine. The revealed dependence finds its physical explanation in the fact that the increase in the cross-sectional area of the receiver and the reduction of air flow in the seeder leads to a decrease in air flow rate in the receiver, providing a decrease in the amount of air connected to the. Therefore, the static pressure along the entire length of the receiver is equalized.

The analysis of dependences also shows that seeders with a receiver with a diameter of more than 70-80 mm have advantages over seeders with a collector in terms of air selection from seed drills. As the previous diameter of the receiver increases, this advantage becomes even more noticeable.

**receiver, pneumomechanical seed drill, drill, vacuum chamber, air flow, vacuum, pressure loss, hydraulic resistance**

*Одержано (Received) 29.10.2020*

*Прорецензовано (Reviewed) 05.11.2020*

*Прийнято до друку (Approved) 21.12.2020*

**УДК 631.363.2**

DOI: <https://doi.org/10.32515/2414-3820.2020.50.107-113>

**Р.В. Кісільов**, доц., канд. техн. наук, **В.С. Хмельовський**, доц., д-р техн. наук, **П.Г. Лузан**, доц., канд. техн. наук, **І.П. Сисоліна**, доц., канд. техн. наук

*Центральноукраїнський національний технічний університет, м. Кропивницький, Україна*

*e-mail: ruslan\_vik@ukr.net*

## Дослідження двосекційного змішувача для приготування збалансованих сумішей на фермах ВРХ

У статті на підставі проведено аналізу існуючих конструкцій запропоновано нову схему двосекційного стрічково-лопатевого змішувача. Експериментальні дослідження визначили вплив конструктивних і режимних параметрів на якість приготування кормосуміші для великої рогатої худоби. Визначена область раціональних значень при яких досягається максимальна однорідність суміші. Отримано графічні залежності, які характеризують якісну роботу двосекційного комбінованого змішувача кормів.

**змішувач кормів, корми, тваринництво, однорідність суміші, кормосуміш, зоотехнічні вимоги**

**Р.В. Кисилев**, доц., канд. техн. наук, **В.С. Хмелевский**, доц., д-р техн. наук, **П.Г. Лузан**, доц., канд. техн. наук, **И.П. Сысолина**, доц., канд. техн. наук

*Центральноукраїнський національний технічний університет, г. Кропивницький, Україна*

### **Исследование двухсекционного смесителя для приготовления сбалансированных смесей на фермах КРС**

В статье на основании проведения анализа существующих конструкций предложена новая схема двухсекционного ленточно-лопастного смесителя. Экспериментальные исследования определили влияние конструктивных и режимных параметров на качество приготовления кормосмеси для крупного рогатого скота. Определена область рациональных значений при которых достигается максимальная однородность смеси. Получены графические зависимости, характеризующие качественную работу двухсекционного комбинированного смесителя кормов.

смеситель кормов, корма, животноводство, однородность смеси, кормосмеси, зоотехнические требования

**Постановка проблеми.** Молочне та м'ясне скотарство України є однією з провідних і найбільш важливих галузей тваринництва, яка забезпечує виробництво більше 95% коров'ячого молока і 50...60% яловичини. На світовому ринку попит на високоякісне молоко, яловичину і продукти їх переробки постійно зростає і тому має важливе господарське значення для розвитку галузі скотарства у сільськогосподарському виробництві нашої країни.

В загальному процесі виробництва продукції скотарства визначальна роль належить кормам. Вони мають низьку якість, в більшості випадків ще й виробляється недостатня кількість, а доля їх у собівартості молока та яловичини становить більше половини витрат [1, 3, 5].

Змішування кормів є обов'язковою і найважливішою та складовою ланкою в процесі приготування збалансованих кормових сумішей, задача якої – одержання встановлених стандартами кондицій за однорідністю, структурою, фізико-механічними властивостями і суворо встановленою кількістю кожного компонента за рецептом.. Порушення співвідношення кормів в суміші призводить до зниження або підвищення поживності готового корму, а в кінцевому рахунку до перевитрат кормів і недобору продукції. В зв'язку з цим в Україні і закордоном існує велика кількість різних змішувачів. В основу їх класифікації прийняті основні істотні ознаки, які мають характерні конструктивно-технологічні схеми, а саме за фізичним станом перемішувального середовища та способом дії і характером технологічного процесу.

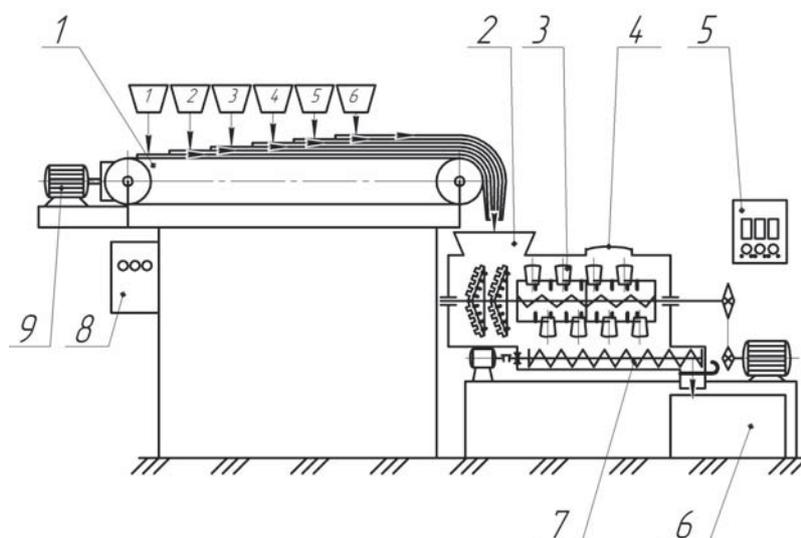
Аналіз конструкцій змішувачів кормів для великої рогатої худоби (ВРХ) виявив ряд недоліків. Це великі енергетичні витрати, мають високу питому матеріалоемність та не повністю забезпечують зоотехнічні вимоги щодо якісного показника (однорідності суміші на рівні 86%). Наявні недоліки роботи традиційних змішувачів обмежують їх застосування на фермах ВРХ, а використання у потокових лініях малоефективне, тому питання підвищення ефективності функціонування і технічного рівня змішувачів для приготування вологих кормосумішей є актуальною задачею. Для інтенсифікації процесу і підвищення ефективності приготування повнораціонних вологих кормових сумішей є поліпшення технологічного процесу шляхом підвищення його динамічності і технічного рівня змішувачів з застосуванням комбінованих конструкцій мішалок та дослідженням впливу конструктивно-кінематичних параметрів на підвищення технологічної ефективності технологічної ефективності змішування вологих кормів [2, 4, 6].

**Аналіз останніх досліджень і публікацій.** Дослідженням процесу сумішоутворення займалися відомі вчені: Кукта Г.М., Гейфман В.П., Завражнов А.І., Кулаковський І.В., Резнік Є.І., Корольов К.М., Лобановський Г.А., Мельніков С.В., Мяндр А.Е., Макаров Ю.П., Сироватка В.І. та інші. Останні дослідження показують, що приготування збалансованої кормосуміші для годівлі ВРХ – це складний технологічний процес зі своїми істотними відмінностями. Тому в теоретичних і експериментальних

дослідження особливо важливого значення набуває фізико-механічна сторона процесу змішування кормів і математичне моделювання властивостей складних сипучих матеріалів [2, 4].

**Постановка завдання.** Метою статті є підвищення ефективності технології приготування повноцінних збалансованих кормосумішей для ВРХ шляхом інтенсифікації і динамічності процесу змішування із застосуванням двосекційних конструкцій стрічково-лопатевого змішувачів.

**Виклад основного матеріалу.** В зв'язку з поставленою проблемою для усунення недоліків в роботі традиційних змішувачів створена нова конструкція двосекційного комбінованого стрічково-лопатевого змішувача, випробування якого підтвердили його високу ефективність. Запропонований змішувач включає корпус з завантажувальною горловиною і вивантажувальним шнеком, вал, який встановлений в підшипникових опорах. Двоступеневе змішування кормів забезпечується гвинтовими периферійними лопатями з радіальними пальцями, які жорстко закріплені на валу за допомогою стійок та другою секцією периферійних плоских лопатей з правим і лівим кутом нахилу їх робочої поверхні до осі вала. Плоскі лопаті з відповідним кроком жорстко встановлені на опорах вздовж змішувача, які знизу обладнані радіальними пальцями для розрихлення моноліту суміші в корпусі змішувача. Мішалка з'єднується з механізмом привода за допомогою напівмуфти. Процес змішування кормів виконується таким чином. Під час роботи змішувача компоненти кормосуміші завантажуються пошарово транспортером 1 в бункер 2, де поступово вирівнюється їх потік і відбувається змішування гвинтовими стрічковими лопатями з пальцями й далі утворена суміш подається у багатосекційну мішалку з плоскими лопатями. Переміщення кормосуміші по поверхні лопатей з різним кутом нахилу в зоні інерційного руху здійснюється в режимі підвищеної динамічності процесу та збільшення зіткнень і перетинів в радіальному та осьовому напрямках, що визначається формою атакуючої лопаті, кроком розташування, геометричними розмірами та кінематичними режимами їх роботи (рис. 1).



1 - завантажувальний транспортер; 2 – бункер; 3 – мішалка з гвинтовими та плоскими лопатями; 4 – оглядовий люк; 5 – пульт управління змішувачем; 6 – ємкість готової кормової суміші; 7 – вивантажувальний шнек; 8 - пульт управління транспортером; 9 – двигун приводу транспортера

Рисунок 1 – Технологічна схема експериментального комбінованого стрічково-лопатевого двосекційного змішувача кормів

*Джерело: розроблено авторами*

Вал мішалки приводиться в дію від мотора - редуктора ланцюговою передачею. Регулювання частоти обертання мішалки здійснюється блоком зірочок з діапазоном частоти обертання 20 – 150 об/хв. Установка з вивантажувальним шнеком 7 і засувкою змонтована на металевій рамі.

Метою експериментальних досліджень передбачалось встановлення ідентифікації розроблених математичних моделей і адекватність отриманих результатів досліджень запропонованого змішувача кормів та визначення впливу основних параметрів і режимів його роботи на показники якості виконання процесу.

Для досягнення поставленої мети визначався взаємний вплив одночасної зміни частоти обертання валу мішалки, ширини плоскої лопаті, кута нахилу лопаті до осі вала мішалки і тривалості часу змішування кормів на показники якості виконання процесу: однорідність суміші і потужність приводу вала змішувача.

З урахуванням умов і режимів роботи експериментальної установки, досліджували неоднорідність отриманої суміші  $V_o$  (%) і витрати потужності приводу вала змішувача  $N$  (Вт) від зміни частоти обертання вала мішалки  $n$  (об/хв.), ширини плоскої лопаті  $b$  (мм), кута нахилу лопаті  $\alpha$  (град.) та тривалості часу змішування кормів  $t$  (хв.), відповідно  $Y_1 = V_H = f(n; b; \alpha; t)$  і  $Y_2 = N = f(n; b; \alpha; t)$ . При проведенні дослідів постійними були параметри мішалки: висота лопаті  $h = 0,5R_d$  (мм) та крок між суміжними парами лопатей  $S = 0,7R_d$  (мм).

Ступінь завершення процесу змішування кормів контролювали тривалістю часу змішування та аналізом відібраних проб. Технологічну якість суміші визначали шляхом розподілення контрольного компонента в 10 пробах (маса проби 100 г з вмістом контрольного компонента 20 шт. вирівняних насінин сої) [8]. Фракційний склад компонентів суміші відповідав стандартним вимогам до годівлі дійної групи корів (табл. 1).

Таблиця 1 – Фракційний склад подрібнених компонентів суміші, %

Розмір часток, мм			Сінаж	Силос	Солома	Конц-корми	Кормові буряки
1			2	3	4	5	6
Силос, сінаж, солома	Конц-корми	Кормові буряки					
до 10	до 1,0	до 15	65,8	3,4	58,8	12,2	85,76
10...30	1,0...1,5	15...30	23,4	17,3	31,3	61,4	10,59
30...50	1,5...1,7	більше 30	9,2	29,1	8,0	17,6	3,65
50...100	1,7...2,5	-	1,6	36,6	2,1	8,8	-
більше 100	-	-	-	13,6	-	-	-
Середньозважений розмір часток, мм			12,85	59,9	13,98	1,3	10,2

Джерело: Джерело: розроблено авторами

Експериментальні дослідження підтвердили перевагу в роботі двосекційного змішувача над односекційним за рахунок більш прискореного конвективного та дифузійного змішування в мікрооб'ємах корму. Тривалість часу змішування кормів

відбувається протягом 6...8 хв. і стабілізується при однорідності суміші на рівні 95...98%.

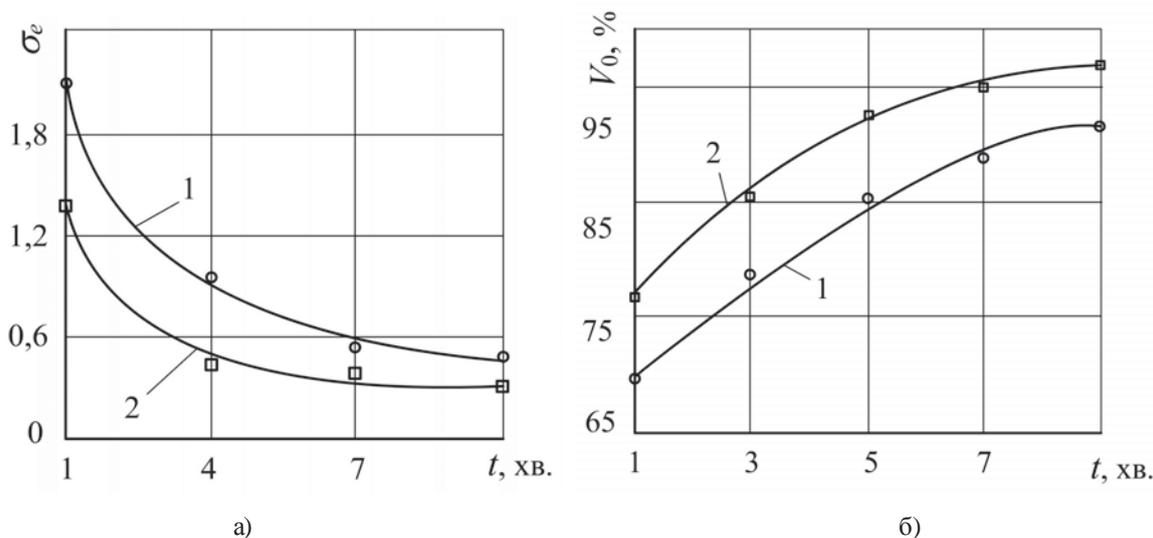


Рисунок 2 – Кінетика процесу а) та однорідність б) змішування кормів односекційною (1) і двосекційною (2) мішалкою при частоті обертання вала  $n=80$  об/хв.

Джерело: Джерело: розроблено авторами

Крім того, було визначено, що мінімальна питома енергоємність процесу приготування суміші двоступеневим змішувачем складає  $E=0,65$  кВт·год/т при тривалості змішування 5 хв., кутовій швидкості руху вала мішалки  $\omega=8,0\text{с}^{-1}$ , кутові нахилу лопатей  $\alpha=50^\circ$  і ширині лопатей  $b=0,4R_a$ , а максимальна -  $E=1,16$  кВт·год/т при кутовій швидкості руху вала мішалки  $\omega=9,0\text{с}^{-1}$ , кутові нахилу лопатей  $\alpha=45^\circ$ , ширині лопатей  $b=0,45R_a$  і тривалості змішування кормів 8 хв. [10, 11].

**Висновки.** Проведені дослідження процесу змішування кормів та приготування збалансованої кормової суміші дозволили визначити раціональні конструктивні та режимні параметри розробленого двосекційного комбінованого змішувача. Запропонована конструкція змішувача забезпечує однорідність суміші  $V_0=95\text{...}98\%$  та необхідну технологічну ефективність і надійність виконання процесу з мінімальними витратами енергії, що відповідає діючим зоотехнічним вимогам ( $V_0=90\text{...}92\%$ ) до однорідності приготування повноцінних сумішей для ВРХ.

## Список літератури

1. Кравчук В.І., Луценко М.М., Мечта М.П. Прогресивні технології заготівлі, приготування і роздавання кормів. Київ: Фенікс, 2008. 104 с.
2. Лазаревич А. П. Однотипові кормосуміші для молочної худоби. *Тваринництво України*. 2007. № 4. С. 33-35.
3. Adgidzi, D, A. Mu'azu, S. T. Olorunsogo and E.L. Shiawoya (2006). Design considerations of mixer-pelleting machine for processing animal feeds. 7th annual engineering conference, School of Engineering and Engineering Technology, FUT Minna. 28-30 June 2006. URL: [http://www.insikapub.com/Vol-01/No-03/IJBAS\(1\)\(3\).pdf](http://www.insikapub.com/Vol-01/No-03/IJBAS(1)(3).pdf)
4. Хмельовський В.С. Оцінка рівномірності змішування кормів. *Збірник тез доповідей XII Міжнародної науково-практичної конференції*, Київ НУБІП України. 2017. С. 77-78. URL: [https://nubip.edu.ua/sites/default/files/\\_obuhovski\\_chitannya\\_2017.pdf#page=77](https://nubip.edu.ua/sites/default/files/_obuhovski_chitannya_2017.pdf#page=77)
5. Ревенко И., Ревенко Ю. Качество приготовления и эффективность использования концентрированных и комбинированных кормов. *MOTROL*. Lublin-Rzeszow. 2013. Вип. 3.

- C. 356–361. URL: <http://agro.icm.edu.pl/agro/element/bwmeta1.element.agro-5bafa802-c1cc-4705-acd3-e3af4d984d88/c/356-361.pdf>
6. Шевченко І.А., Павліченко В. М., Лиходід В. В., Забудченко В. М. Аналіз конструкцій технічних засобів для виробництва вологих високозасвоєваних кормів. *Конструювання, виробництво та експлуатація сільськогосподарських машин: загальнодерж. міжвід. наук.-техн. зб.*, 2013. Вип. 43. С. 179–185. URL: <http://dSPACE.kntu.kr.ua/jspui/handle/123456789/2701>
  7. Ревенко І.І., Брагінець М.В., Ребенко В.І. Машини та обладнання для тваринництва. *Кондор*. Київ. 2009. 730 с. URL: <http://www.twirpx.com/file/2085032/>
  8. Шацький В.В., Мілько Д.А., Болтянський Б.В., Коломієць С.М., Семенцов В.І. Якість змішування компонентів раціону – основа підвищення продуктивності тварин. *Збірник Таврійського державного агротехнологічного університету*. Мелітополь. 2013. Вип. 1. т. 3. С. 43–50. URL: <http://nauka.tsatu.edu.ua/e-journals-tdata/pdf1t3/11SVVIAP.pdf>
  9. Завражнов А.И. Механизация приготовления и хранения кормов. *Агрпромиздат.*, 1990. 336 с.
  10. Шацкий В.В. Математическое моделирование динамичности плотности и качества кормовой смеси для животных. *Науковий вісник Таврійського державного агротехнологічного університету*: Мелітополь. 2012. Вип.2. Т.2. С. 3–19. URL: [http://www.irbis-nbuv.gov.ua/cgi-bin/irbis\\_nbuv/cgiirbis\\_64.exe?C21COM=2&I21DBN=UJRN&P21DBN=UJRN&IMAGE\\_FILE\\_DOWNLOAD=1&Image\\_file\\_name=PDF/Vkhdтусg\\_2014\\_144\\_32.pdf](http://www.irbis-nbuv.gov.ua/cgi-bin/irbis_nbuv/cgiirbis_64.exe?C21COM=2&I21DBN=UJRN&P21DBN=UJRN&IMAGE_FILE_DOWNLOAD=1&Image_file_name=PDF/Vkhdтусg_2014_144_32.pdf)
  11. Шабельник Б.П. Теорія та розрахунок машин для тваринництва. Монографія. Харків: ХДТУСГ, 2002, 216 с.

## References

1. Kravchuk, V.I., Lutsenko, M.M. & Mehta, M.P. (2008). Prohresyvni tekhnolohii zahotivli, pryhotuvannia i rozdavannia kormiv [*Progressive harvesting technologies, preparation and distribution of feed*]. Kyev: Feniks [in Ukrainian].
2. Lazarevych, A.P. (2007). Odnotypovi kormosumishi dlia molochnoi khudoby [Preparation of feed mixtures by the combined blender]. *Tvarynnytstvo Ukrainy – Bulletin of Agricultural Science*, issue 4, 33–35 [in Ukrainian].
3. Adgidzi, D.A. Mu'azu, S.T. Olorunsogo & Shiwoya, E.L. (2006). Design considerations of mixer-pelleting machine for processing animal feeds. 7th annual engineering conference, School of Engineering and Engineering Technology, FUT Minna. 28-30 June 2006. Retrieved from [http://www.insikapub.com/Vol-01/No-03/IJBAS\(1\)\(3\).pdf](http://www.insikapub.com/Vol-01/No-03/IJBAS(1)(3).pdf) [in English].
4. Khmel'ovs'kyj, V.S. (2017). Otsinka rivnomirnosti zmishuvannia kormiv. *Zbirnyk tez dopovidej XII Mizhnarodnoi naukovo-praktychnoi konferentsii* (pp. 77–78), Kyiv NUBIP Ukrainy. Retrieved from [https://nubip.edu.ua/sites/default/files/\\_obuhovski\\_chitannya\\_2017.pdf#page=77](https://nubip.edu.ua/sites/default/files/_obuhovski_chitannya_2017.pdf#page=77) [in Ukrainian].
5. Revenko I., Revenko Ju. (2013). Kachestvo prigotovlenija i jeffektivnost' ispol'zovanija koncentrirovannyh i kombinirovannyh kormov. *MOTROL*. Lublin-Rzeszow. Vol. 3, pp. 356–361. Retrieved from <http://agro.icm.edu.pl/agro/element/bwmeta1.element.agro-5bafa802-c1cc-4705-acd3-e3af4d984d88/c/356-361.pdf> [in Russian].
6. Shevchenko, I.A., Pavlichenko, V. M., Lykholdid, V. V. & Zabudchenko, V. M. (2013). Analiz konstruksij tekhnichnykh zasobiv dlia vyrobnytstva volohykh vysokozasvoivanykh kormiv. *Konstruiuvannia, vyrobnytstvo ta ekspluatatsiia sil'skohospodars'kykh mashyn: zahal'noderzh. mizhvid. nauk.-tekhn. zb.*, Vol. 43, 179–185. Retrieved from <http://dSPACE.kntu.kr.ua/jspui/handle/123456789/2701> [in Ukrainian].
7. Revenko, I.I., Brahynets', M.V. & Rebenko, V.I. (2009). Mashyny ta obladnannia dlia tvarynnytstva. *Kondor*. Kyiv. Retrieved from <http://www.twirpx.com/file/2085032/> [in Ukrainian].
8. Shats'kyj, V.V., Mil'ko, D.A., Boltians'kyj, B.V., Kolomiets', S.M. & Sementsov, V.I. (2013). Yakist' zmishuvannia komponentiv ratsionu – osnova pidvyschennia produktyvnosti tvaryn. *Zbirnyk Tavrijs'koho derzhavnogo ahrotekhnologichnogo universytetu*, Vol. 1, isse. 3, 43–50. Retrieved from <http://nauka.tsatu.edu.ua/e-journals-tdata/pdf1t3/11SVVIAP.pdf> [in Ukrainian].
9. Zavrazhnov, A.I. (1990). *Mehanizacija prigotovlenija i hranenija kormov*. Agropromizdat [in Russian].
10. Shackij, V.V. (2012). Matematicheskoe modelirovanie dinamichnosti plotnosti i kachestva kormovoj smesi dlja zhivotnyh. *Naukovij visnik Tavrijs'kogo derzhavnogo agrotehnologichnogo universitetu: Melitopol'*, Vol.2. isse.2, 3–19. Retrieved from [http://www.irbis-nbuv.gov.ua/cgi-bin/irbis\\_nbuv](http://www.irbis-nbuv.gov.ua/cgi-bin/irbis_nbuv)

/cgiirbis\_64.exe?C21COM=2&I21DBN=UJRN&P21DBN=UJRN&IMAGE\_FILE\_DOWNLOAD=1&Image\_file\_name=PDF/Vkhdtusg\_2014\_144\_32.pdf [in Russian].

11. Shabel'nyk, B.P. (2002). *Teoriia ta rozrakhunok mashyn dlia tvarynnytstva*. Kharkiv: KhDTUSH [in Ukrainian].

**Ruslan Kisilyov**, Assoc. Prof., PhD tech. sci., **Vasil Khmelevsky**, Assoc. Prof., PhD tech. sci., **Petro Luzan**, Assoc. Prof., PhD tech. sci., **Iryna Sysolina**, Assoc. Prof., PhD tech. sci.

*Central Ukrainian National Technical University, Kropyvnytskyi, Ukraine*

### **Study of a Two-section Mixer for the Preparation of Balanced Mixtures on Cattle Farms**

Improving of livestock industry efficiency significantly depends on quality of feed preparation, as they are in cost structure of products are 30-60% of costs. Advanced technologies that allow to fully realize genetic potential of animals, due to the lack of necessary technical support have not become widespread.

The experience of using intensive full-system technologies for livestock production shows that, along with reliable and balanced provision of farms with high quality feeds, traditional feeding systems are being improved, which are aimed at the development of economically efficient mechanized feed processing technologies and the preparation of full-range and balanced feed mixtures.

Existing designs of feed mixers for cattle do not fully meet the zootechnical requirements for the preparation of multicomponent balanced complete feed mixtures, have high energy costs and high specific material consumption.

Therefore, research aimed at developing working bodies for feed mixers, which will ensure the creation of a highly efficient feed base at low energy and material costs are of economic importance and is an urgent scientific task.

In the article on the basis of the conducted researches the basic constructive-technological scheme of the effective single-shaft two-section mixer for realization of process of preparation of balanced mixes for cattle executed in the form of the horizontally located cylindrical case with the combined mixer consisting of section of screw tapes and flat blades (left and right) direction of inclination, the working surface of which is located at an angle of 45... 500 to the axis of the shaft and is equipped with radial fingers.

The purpose of experimental research was to establish identification of developed mathematical models and adequacy of research results of proposed feed mixer and determine impact of basic parameters and modes of its operation on quality process. Achieve this goal, mutual influence of simultaneous changes in speed of agitator shaft, width of flat blade angle of blade to axis of agitator shaft and duration of feed mixing on quality process: homogeneity of mixture and drive power of mixer shaft.

Theoretical studies of the process of preparation of a balanced complete ration mixture confirmed the advantage of the developed design of the combined two-section mixer and increased the quality index (homogeneity of the mixture) to 98%

**feed mixer, feed, animal husbandry, mixture homogeneity, feed mixture, zootechnical requirements**

*Одержано (Received) 29.10.2020*

*Прорецензовано (Reviewed) 05.11.2020*

*Прийнято до друку (Approved) 21.12.2020*