

МАШИНОЗНАВСТВО

УДК 664.712.5

<https://doi.org/10.31713/vt3202211>

Налобіна О. О., д.т.н., професор, Голотюк М. В., к.т.н., доцент, Тхорук Є. І., к.т.н., доцент, Дорощук В. О., старший викладач (Національний університет водного господарства та природокористування, м. Рівне, m.v.holotiuk@nuwm.edu.ua),
Забродоцька Л. Ю., к.т.н., доцент (Луцький національний технічний університет, м. Луцьк)

ДОСЛІДЖЕННЯ ПРОЦЕСУ ЗМІШУВАННЯ СИПКИХ КОРМІВ

У статті виконано аналіз існуючих технологій приготування комбікормів та запропоновано технологічний процес подрібнення сипких кормів на агровиробничих підприємствах і отримання від їх згодовування максимальної кількості продукції за рахунок прогресивності механізованих технологій та технічних засобів подрібнення і змішування кормових матеріалів. Вивчено перспективи застосування сучасних агрегатів для подрібнення та змішування сипких кормів, робота яких базується на використанні зернової сировини. В роботі досліджено та обґрунтовано процес змішування сипучих кормів з метою підвищення ефективності процесу змішування та збагачення комбікормів шляхом обґрунтування конструктивно-технологічних параметрів агрегату. При обґрунтуванні роботи змішувача виділено три зони, в яких безпосередньо відбувається змішування матеріалів: зона захоплення матеріалів шнеком у нижній частині бункера; зона переміщення матеріалів шнеком усередині кожуха; зона осипання матеріалів із конічного розсіювача. Аналітичні дослідження, які були проведені в роботі, дали змогу визначити функціональні залежності для технологічного процесу, що описують процес подрібнення та перемішування на різних етапах його ведення, та обґрунтувати необхідні завдання для проведення експериментів. В результаті досліджень, проведених згідно із загальноприйнятими методиками, визначено параметри та режими роботи шнекового змішувача сипких кормів, який забезпечує технологічну надійність ведення процесу та необхідну рівномірність розподілу компонентів у сумішці. В статті виконані теоретичні дослідження дозволили на підставі вивчення процесу переміщення

матеріалу вертикальним шнеком встановити, що для інтенсифікації процесу змішування компонентів усередині бункера необхідно підвищувати частоту обертання матеріалу щодо шнека, що можна здійснити за рахунок встановлення гвинтової реборди на внутрішній поверхні кожуха.

Ключові слова: змішування; сипкі корми; подрібнення; аграрне виробництво; шнековий змішувач.

Вступ. На виробництві агропромислових підприємств створена і виготовляється широка номенклатура агрегатів для подрібнення та змішування сипких кормів, робота яких базується на використанні зернової сировини і білково-вітамінно-мінеральних добавок.

Розширення технологій виробництва та змішування комбікормів у агровиробничих підприємствах і отримання від їх згодовування максимальної кількості продукції залежить від прогресивності механізованих технологій та технічних засобів подрібнення і змішування кормових матеріалів. Одним із основних завдань є дослідження та розроблення засобів для приготування сипких кормів з високою рівномірністю розподілу основних компонентів корму [1].

Оскільки складові сипких кормів за вмістом відрізняються між собою, тому доцільно проводити змішування сипких кормів поступово, починаючи з найнижчих за вмістом компонентів. Високі вимоги щодо рівномірності змішування сипких кормів ставляться до групи мікрокомпонентів. Тому комбікормові агрегати підприємств необхідно модернізувати відповідними змішувачами.

Розроблення сучасних механізованих технологій ступінчатого процесу змішування компонентів та дослідження параметрів змішувача кормів є актуальним завданням для дослідження, розв'язання якого дозволить широко впроваджувати сучасні технології у тваринницьких господарствах України.

Змішування сільськогосподарських кормів в умовах агровиробничих підприємств є складними процесами, механізм дії яких залежить від конструкції робочих органів, властивостей кормів змішування. Змішування та розпушування сипких кормів на даному етапі залишається недостатньо вивченим технологічним та фізичним процесом. Це пояснюється тим, що процес змішування сипких кормів є більш складним предметом для наукового дослідження ніж процес змішування рідких або газоподібних матеріалів. Процес змішування сипких кормів є досить складним механічним процесом, а механізм

його дії залежить від конструкції змішувача [2].

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Для вирішення питань повноцінної годівлі сільськогосподарських тварин створено ряд взаємопов'язаних технологічних операцій і машин, які забезпечують суворе дотримання співвідношення компонентів раціону і рівномірне їх змішування. Процес змішування компонентів є завершальним етапом і відіграє основну роль як фактор, від виконання якого залежить якість кінцевого продукту та його собівартість [3].

Значний внесок у дослідження питань розробки змішувачів сипких кормів та технологій їх приготування зробили українські та зарубіжні вчені: Гевко Б. М., Дячун А. Є., Гевко І. Б., Ляшук О. Л., Чвартацький Р. І., Кірчук Р. В., Максимук Р. Я., Хомич А. В., Хвесик В. О., Ревенко І. І., Брагінець М. В., Ребенко В. І., Гузенко В. В., Чвартацький Р. І., Ачкевич О. М., Шевченко І. А., Павліченко В. М., Лиходід В. В., Забудче В. М. та ін. У [4; 5; 6] показано, що періодичний спосіб змішування сипких матеріалів є значно кращим, оскільки забезпечує високу якість суміші за рахунок циркуляції матеріалів, що змішуються всередині змішувача, але для цього способу є актуальними питання зменшення енерговитрат на приготування суміші та зниження вартості обладнання, що застосовується [7; 8; 9].

Постановка мети і задачі дослідження. Метою проведених досліджень є обґрунтування процесу змішування сипучих кормів, підвищення ефективності процесу змішування та збагачення комбікормів шляхом обґрунтування конструктивно-технологічних параметрів.

Виклад основного матеріалу. Процес змішування сипких кормів розглянуто на прикладі роботи шнекового змішувача (рис. 1), принципова схема якого розроблена на основі аналізу конструкцій відомих змішувачів.

Розглядаючи роботу змішувача, можна виділити три зони, в яких безпосередньо відбувається змішування матеріалів:

- зона захоплення матеріалів шнеком у нижній частині бункера;
- зона переміщення матеріалів шнеком усередині кожуха;
- зона осипання матеріалів із конічного розсіювача.

У першій зоні змішування відбувається за рахунок того, що шнек 2 захоплюючи матеріал з дна бункера і переміщуючи його всередину кожуха 3 створює умови для опускання вищих шарів всередині бункера вниз, що, зазвичай, відбувається хаотично. Для того, щоб матеріали безперешкодно надходили в нижню частину бункера необхідно, щоб основа бункера в його конічній частині була викона-

на під таким кутом, який дозволяє матеріалам, що змішуються, самопливом опускатися вниз. Також необхідно, щоб завантажувальні вікна в нижній частині кожуха мали такі розміри, які забезпечують інтенсивну подачу матеріалу до шнека.

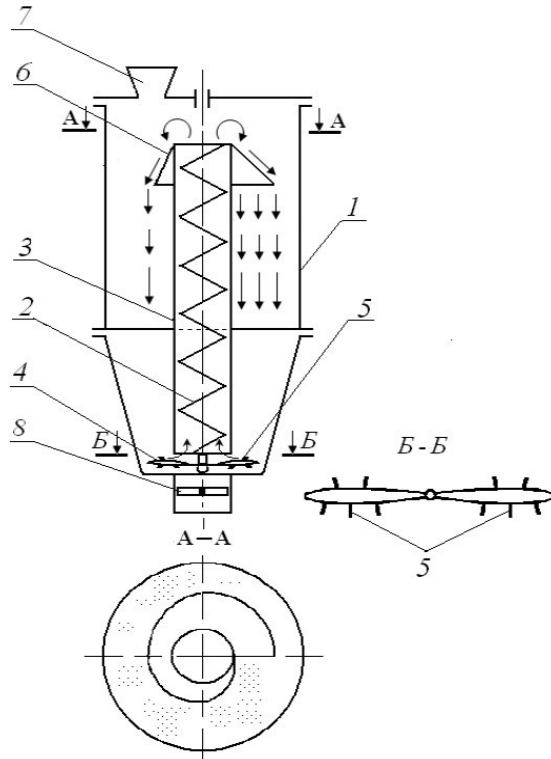


Рис. 1. Шнековий змішувач:

- 1 – бункер циліндрично-конічної форми;
- 2 – шнек;
- 3 – кожух;
- 4 – лопать;
- 5 – ріжучі елементи лопаті;
- 6 – конічний розсіювач;
- 7 – приймач;
- 8 – клапан вивантаження суміші

У другій зоні при переміщенні матеріалів шнеком усередині кожуха їхнє змішування відбувається під впливом таких факторів, як конструктивні та режимні параметри шнека, що визначаються з урахуванням фізико-механічних властивостей матеріалів.

У третій зоні, як було сказано вище, змішування матеріалів відбувається за рахунок їх обсіпання з розсіювача по всій площі поперечного перерізу бункера.

Оскільки ефективність змішування матеріалів у змішувачі шнека залежить, головним чином, від роботи шнека, розглянемо умови, за яких забезпечується найбільша швидкість переміщення матеріалів по шнеку.

При переміщенні частинки матеріалу вагою G вертикальним шнеком на неї діють такі сили (рис. 2):

нормальна реакція стінки кожуха N_k , що викликає силу тертя частки об стінку кожуха:

$$f_{mp.k} = N_k \cdot f_k \quad (1)$$

нормальна реакція спіралі $N_{ш}$, що викликає силу тертя частки про шнек.

$$f_{mp.ш} = N_{ш} \cdot f_{ш}, \quad (2)$$

де $f_{ш}$, f_k – коефіцієнти тертя матеріалу по шнеку та кожуху.

При роботі змішувача частка матеріалу, що знаходиться на спіралі шнека, що обертається, під дією відцентрової сили переміщається поперек спіралі і вступає в контакт з внутрішньою поверхнею нерухомого кожуха. Сила тертя частки про кожух $f_{mp.k}$, спрямована проти обертання шнека, долає силу тертя частки про шнек і тому вона за рахунок проковзування щодо спіралі переміщається вгору.

Успішне переміщення частинки по спіралі вгору може відбуватися в тому випадку, якщо

$$F_{mp.k} > F_{mp.ш}. \quad (3)$$

З метою вивчення механізму транспортування частинки матеріалу вертикальним шнеком розглянемо план швидкостей, що виникають під час обертання шнека (рис. 3).

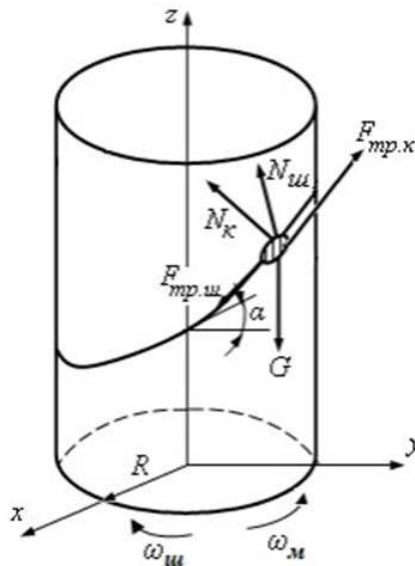


Рис. 2. Схема сил, які діють на частинку матеріалу

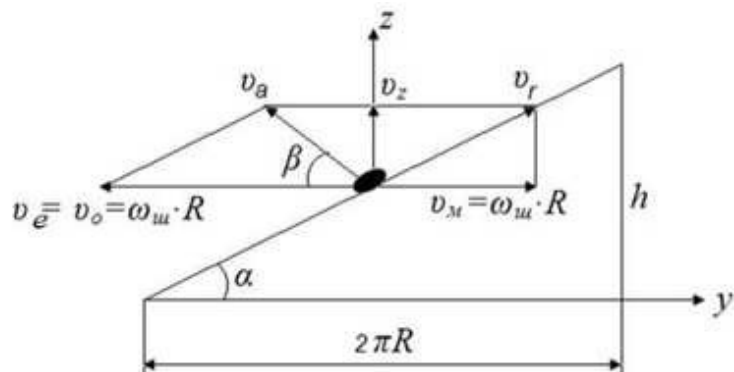


Рис. 3. План швидкостей

На плані швидкостей із уточненнями та доповненнями автора: v_a – абсолютна швидкість; $v_e = v_o$ – переносна (окружна) швидкість; v_r – відносна швидкість; v_z – швидкість переміщення частинки вгору по вертикальній осі шнека; ω_w , ω_m – кутові швидкості шнека та частки матеріалу; h – крок навивки спіралі шнека; $2\pi R$ – розгортка одного витка спіралі; α – кут підйому спіралі шнека; β – кут між переносною та абсолютною швидкістю. Зі схеми на рис. 3:

$$v_a = \frac{\omega_w \cdot R \cdot \sin \alpha}{\sin(\alpha + \beta)}; \quad (4)$$

$$v_r = \frac{\omega_m \cdot R \cdot \sin \beta}{\sin(\alpha + \beta)}; \quad (5)$$

$$v_z = \frac{\omega_w \cdot R}{(\operatorname{ctg} \alpha + \operatorname{ctg} \beta)}. \quad (6)$$

Кутова швидкість частинки відносно шнека:

$$\omega_M = \frac{\omega_w \cdot \sin \beta \cdot \cos \alpha}{\sin(\alpha + \beta)}. \quad (7)$$

Диференціальні рівняння переміщення частинки матеріалу по шнеку:

$$\frac{G}{g} \cdot R \cdot \dot{\omega}_M = -N_w (\sin \alpha + f_w \cos \alpha) + N_k \cdot f_k \frac{(\omega_w - \omega_M)}{\sqrt{(\omega_w - \omega_M)^2 + (\omega_M \operatorname{tg} \alpha)^2}}. \quad (8)$$

$$\frac{G}{g} \cdot R \cdot \dot{\omega}_M \cdot \operatorname{tg} \alpha = -G + N_w (\cos \alpha - f_w \sin \alpha) - N_k \cdot f_k \frac{\omega_M \operatorname{tg} \alpha}{\sqrt{(\omega_w - \omega_M)^2 + (\omega_M \operatorname{tg} \alpha)^2}}. \quad (9)$$

$$\frac{G}{g} \cdot R \cdot (\omega_w - \omega_M)^2 = N_k. \quad (10)$$

Оскільки процес запуску шнека в роботу займає незначний проміжок часу (0,1–0,2) с, розглянемо його режим встановленого

обертання. У цьому випадку рівняння (8)–(9) набудуть вигляду:

$$-N_{ш}(sina + f_{ш} cosa) + N_k \cdot f_k \frac{(\omega_{ш} - \omega_N)}{\sqrt{(\omega_{ш} - \omega_N)^2 + (\omega_N \cdot tg\alpha)^2}} = 0; \quad (11)$$

$$-G + N_{ш}(cosa - f_{ш} sina) - N_k \cdot f_k \frac{\omega_N \cdot tg\alpha}{\sqrt{(\omega_{ш} - \omega_N)^2 + (\omega_N \cdot tg\alpha)^2}} = 0. \quad (12)$$

Рівняння (10) залишиться без змін:

$$\frac{G}{g} \cdot R \cdot (\omega_{ш} - \omega_N)^2 = N_k.$$

Формулу для визначення кутової швидкості частинки матеріалу можна записати у вигляді

$$\omega_N = \omega_{ш} \cdot k_{пр}, \quad (13)$$

де $k_{пр}$ – коефіцієнт проковзування частки матеріалу щодо спіралі.

Прирівнявши формули (7) та (13), отримаємо:

$$k_{пр} = \frac{\sin\beta \cdot \cos\alpha}{\sin(\alpha + \beta)}. \quad (14)$$

Виконаємо аналіз формули (14). Спочатку розглянемо останні варіанти. Якщо $\alpha = 0$, $k_{пр} = 1$; при $\alpha = 90^\circ$, $k_{пр} = 0$. Якщо $\beta = 0$, $k_{пр} = 0$; при $\beta = 90^\circ$, $k_{пр} = 1$. Для подальшого аналізу прийемо $\alpha = 9^\circ$ і $\alpha = 18^\circ$. При цих значеннях кута α крок навивки спіралі в першому випадку $h = 0,5D$, у другому у випадку $h = D$, де D – зовнішній діаметр шнека. Кут β прийемо в діапазоні $0-90^\circ$.

На рис. 4 показано графічні залежності коефіцієнта проковзування по шнеку від величини кутів α і β .

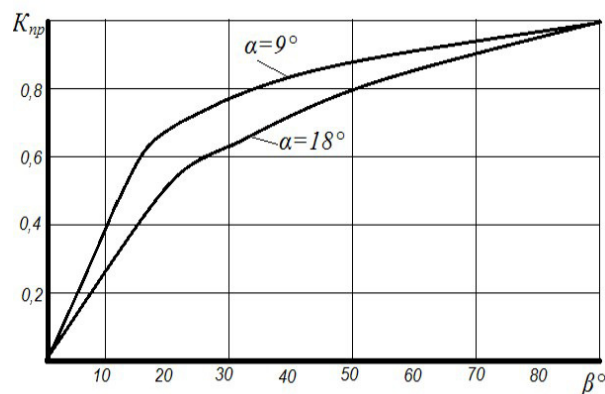


Рис. 4. Залежність $k_{пр} = f(\alpha, \beta)$

Залежності на рис. 4 показують, що значення коефіцієнта проковзування залежить головним чином від кута β , а вплив кута α в

прийнятих значеннях незначно, причому при збільшенні кута від 9° до 18° чисельні значення $k_{пр}$ зменшуються, що узгоджується з практикою.

Найбільш інтенсивно зростання коефіцієнта проковзування відбувається в діапазоні $\beta=0-20^\circ$.

Кут між переносною та абсолютною швидкістю визначення:

$$\beta = \arcsin \frac{\omega_{ш} \cdot \operatorname{tg} \alpha}{\sqrt{(\omega_{ш} - \omega_{м})^2 + (\omega_{ш} \cdot \operatorname{tg} \alpha)^2}}. \quad (15)$$

Розрахуємо значення кута β при прийнятих раніше величинах кута α , але оскільки кутові швидкості шнека та матеріалу невідомі, до розрахунку приймемо їх співвідношення. Результати розрахунку показано на рис. 5.

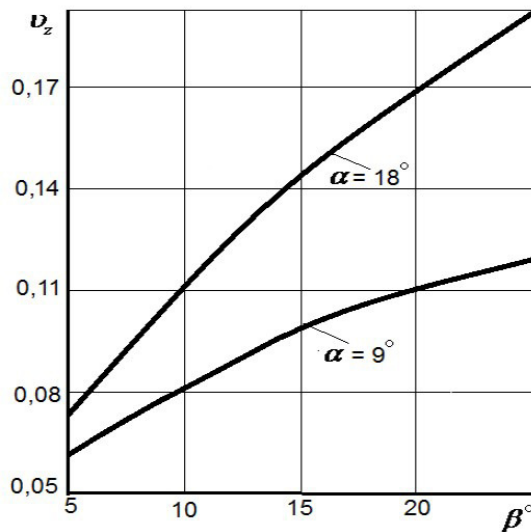


Рис. 5. Залежність величини кута β від відношення кутових швидкостей матеріалу та шнека

Як бачимо, значення кута β має лінійну залежність від співвідношення $\omega_m/\omega_{ш}$ у дослідженому діапазоні та при його збільшенні зростає, що призводить до зростання осьової швидкості переміщення матеріалу v_z , а осьова швидкість визначає швидкість циркуляції матеріалів, що змішуються у бункері змішувача. Отже, при відомих значеннях $\omega_{ш}$ потрібно підвищувати ω_m .

Висновки. Отже, виконані теоретичні дослідження дозволили на підставі вивчення процесу переміщення матеріалу вертикальним шнеком встановити, що для інтенсифікації процесу змішування ком-
104

понентів усередині бункера необхідно підвищувати частоту обертання матеріалу щодо шнека, що можна здійснити за рахунок встановлення гвинтової реборди на внутрішній поверхні кожуха.

1. Гузенко В. В. Аналіз пристроїв для переробки кормосумішей грубих кормів та оцінка їх використання в однофазній мережі при векторноалгоритмічній комутації. *Вісник Харківського національного технічного університету сільського господарства імені Петра Василенка*. 2014. № 153. С. 142–143.
2. Чвартацький Р. І. Обґрунтування параметрів машин для подрібнення і змішування кормів : автореф. дис. ... канд. техн. наук : 05.05.11. Тернопіль, 2017. 20 с.
3. Ачкевич О. М. Обґрунтування вибору типу змішувача комбікормових добавок. *Науковий вісник Національного університету біоресурсів і природокористування України. Сер. Техніка та енергетика АПК*. 2012. Вип. 170. Ч. 2. С. 263–271.
4. Дячун А. Є., Чвартацький Р. І. Дослідження кінематики вантажу у середньошвидкісному гвинтовому конвеєрі-змішувачі із осьовим колюванням шнека. *Техніка, енергетика, транспорт АПК : всеукраїнський науково-технічний журнал*. Вінниця, 2015. № 4(94). 123 с.
5. Кірчук Р. В., Максимук Р. Я., Хомич А. В., Хвесик В. О. Аналіз засобів розпушування сипких сільськогосподарських матеріалів в процесі сушіння. *Сільськогосподарські машини : зб. наук. ст.* Луцьк, 2018. Вип. 39. С. 75–85.
6. Наукове обґрунтування розподілу показників якості соломи та трости льону олійного на класи сортності / Налобіна О. О., Головенко Т. М., Голостюк М. В., Ружанські П., Шовкомуд О. В. *Сільськогосподарські машини : зб. наук. ст.* Луцьк, 2020. Вип. 44. С. 102–122.
7. Лазаревич А. П. Однотипові кормосуміші для молочної худоби. *Тваринництво України*. 2007. № 4. С. 33–35.
8. Design considerations of mixer-pelleting machine for processing animal feeds / D. Adgidzi, A. Mu'azu, S. T. Olorunsogo, E. L. Shiawoya. *School of Engineering and Engineering Technology : 7th annual engineering conference*. FUT Minna. 28–30 June 2006. 3 p.
9. Особливості виготовлення гвинтових робочих органів підвищеної надійності і довговічності / Б. М. Гевко, А. Є. Дячун, І. Б. Гевко, О. Л. Ляшук, Р. І. Чвартацький. *Вісник Харківського національного технічного університету с/г*. Харків : ХНТУ, 2011. Вип. 114. С. 137–142.

REFERENCES:

1. Huzenko V. V. Analiz prystroiv dlia pererobky kormosumishei hrubrykh kormiv ta otsinka yikh vykorystannia v odnofaznii merezhi pry vektornoalhoritymichnii komutatsii. *Visnyk Kharkivskoho natsionalnoho tekhnichnoho universytetu silskoho hospodarstva imeni Petra Vasylenka*. 2014. № 153. S. 142–143.
2. Chvartatskyi R. I. Obgruntuvannia parametriv mashyn dlia podribnennia i zmishuvannia kormiv : avtoref. dys. ... kand. tekhn. nauk : 05.05.11. Ternopil,

2017. 20 s. **3.** Achkevych O. M. Obgruntuvnia vyboru typu zmishuvacha kombikormovykh dobavok. *Naukovyi visnyk Natsionalnoho universytetu bioresursiv i pryrodokorystuvannia Ukrainy. Ser. Tekhnika ta enerhetyka APK.* 2012. Vyp. 170. Ch. 2. S. 263–271. **4.** Diachun A. Ye., Chvartatskyi R. I. Doslidzhennia kinematyky vantazhu u serednoshvydkisnomu hvyntovomu konveieri-zmishuvachi iz osovym kolyvanniam shneka. *Tekhnika, enerhetyka, transport APK : vseukrainskyi naukovo-tekhnichnyi zhurnal.* Vinnytsia, 2015. № 4(94). 123 s. **5.** Kirchuk R. V., Maksymuk R. Ya., Khomych A. V., Khvesyk V. O. Analiz zasobiv rozpushuvannia sypkykh silskohospodarskykh materialiv v protsesi sushinnia. *Silskohospodarski mashyny : zb. nauk. st.* Lutsk, 2018. Vyp. 39. S. 75–85. **6.** Naukove obgruntuvannia rozpodilu pokaznykiv yakosti solomy ta tresty lonu oliinoho na klasy sortnosti / Nalobina O. O., Holovenko T. M., Holotiuk M. V., Ruzhanski P., Shovkomud O. V. *Silskohospodarski mashyny : zb. nauk. st.* Lutsk, 2020. Vyp. 44. S. 102–122. **7.** Lazarevych A. P. Odnotypovi kormosumishi dlia molochnoi khudoby. *Tvarynnytstvo Ukrainy.* 2007. № 4. C. 33–35. **8.** Design considerations of mixer-pelleting machine for processing animal feeds / D. Adgidzi, A. Mu'azu, S. T. Olorunsogo, E. L. Shiawoya. *School of Engineering and Engineering Technology : 7th annual engineering conference.* FUT Minna. 28–30 June 2006. 3 p. **9.** Osoblyvosti vyhotovlennia hvyntovykh robochykh orhaniv pidvyshchenoi nadiinosti i dovhovichnosti / B. M. Hevko, A. Ye. Diachun, I. B. Hevko, O. L. Liashuk, R. I. Chvartatskyi. *Visnyk Kharkivskoho natsionalnoho tekhnichnoho universytetu s/h.* Kharkiv : KhNTU, 2011. Vyp. 114. S. 137–142.

Nalobina O. O., Doctor of Engineering, Professor, Holotiuk M. V., Candidate of Engineering (Ph.D.), Associate Professor, Tkhoruk Y. I., Candidate of Engineering (Ph.D.), Associate Professor, Doroshchuk V. O., Senior Lecturer (National University of Water and Environmental Engineering, Rivne), Zabrodotska L. Y., Candidate of Engineering (Ph.D.), Associate Professor (Lutsk National Technical University, Lutsk)

RESEARCH OF THE PROCESS OF MIXING BULK FEEDS

The article analyzes the existing technologies for the preparation of compound feed and proposes a technological process for grinding bulk feed at agro-production enterprises and obtaining the maximum amount of products from their feeding due to the progressiveness of mechanized technologies and technical means of grinding and mixing feed materials. The prospects for the use of modern ag-

gregates for grinding and mixing bulk feed, the work of which is based on the use of grain raw materials were studied. The process of mixing bulk feed was investigated and substantiated in order to increase the efficiency of the process of mixing and enriching compound feed by substantiating the structural and technological parameters of the unit. There were identified three zones by substantiating the operation of the mixer, in which the mixing of materials takes place directly: the zone of capture of materials by an auger in the lower part of the hopper; the zone of movement of materials with an auger inside the casing; the area where materials are dumped from a spreader. It was carried out that analytical studies made it possible to determine functional dependencies for the technological process, which describe the process of grinding and mixing at various stages of its management, and to substantiate the necessary tasks for conducting experiments. As a result of research conducted in accordance with generally accepted methods, the parameters and modes of operation of the screw mixer of bulk feed have been determined, which ensures the technological reliability of the process and the necessary uniformity of the distribution of components in the mixture. The performed theoretical research made it possible to establish, based on the study of the process of moving the material by a vertical auger, that in order to intensify the process of mixing the components inside the hopper, it is necessary to increase the rotation frequency of the material relative to the auger, which can be done by installing a screw flange on the inner surface of the casing.

Keywords: mixing; bulk feed; grinding; agricultural production; auger mixer.
