

Viktor Deikun, Assoc. Prof., PhD tech. sci.

Central Ukrainian National Technical University, Kropyvnytskyi, Ukraine

Results of the Study of the Work of the New Combined Working Body

According to the results of laboratory investigations of the work of the experimental combined work body. equipped with a tuon and a distributor for simultaneously with the main non-polar treatment of soil intra-ground introduction of granulated mineral fertilizers with uniform placement of them in the area under the slap space, technological and kinematic parameters that significantly affect the quality of the process, the impact of the flight speed of fertilizer granules on the exit from the tuon-strap, the height of the distributor's position above the surface of the lower edge of the paw, the angle of inclination of the edge of the prism and the angle between its faces on the distance the transverse flight of the main mass of fertilizers and the uniformity of their distribution on the design width of the trap.

The design of a combined working body for intragrating granular mineral fertilizers is equipped with a device with well-defined parameters that allows the flow of granules of fertilizers to the point of their contact with the edges of the distributor prisms, after reflection of which they are directed in a given direction.

The proposed working body allows uniform placement of the prescribed dose of mineral fertilizers to the required depth with their simultaneous earnings, which reduces energy costs for the implementation of technological operations.

fertilizers, tuonapryadnik, distributor, optimal parameters, influential factors, optimization criteria, range, fertilizer concentration

Одержано (Received) 22.11.2018

Прорецензовано (Reviewed) 30.11.2018

Прийнято до друку (Approved) 20.12.2018

УДК 631.363.7

DOI: <https://doi.org/10.32515/2414-3820.2018.48.189-197>

В.С. Хмельовський, доц., канд. техн. наук

Національний університет біоресурсів і природокористування України, м. Київ, Україна

e-mail: khmelovskyi@nubip.edu.ua

Аналіз руху кормової суміші в бункері кормоприготувального агрегату

У статті описано результати досліджень руху кормової суміші в бункері кормоприготувального агрегату. Теоретичний аналіз дозволив встановити, що за умови, $\omega < 2\Omega$ на вісі OZ вплив точкового джерела збурення тиску p' простягається у цьому випадку по всьому об'єму кормової суміші, причому вплив спадає при віддаленні від джерела збурення за степеневим законом. Дослідження дозволили отримати залежності кута між хвильовим вектором \vec{k} та вектором $\vec{\Omega}$, який повинен знаходитись в межах $12-19^\circ$, що дає можливість забезпечити ефективне змішування кормових компонентів та уникнення застійних зон.

кормоприготувальний агрегат, змішувальний ротор, кормова суміш, хвильовий вектор, ефективне змішування

В.С. Хмелевский, доц., канд. техн. наук

Національний університет біоресурсів і природопользования Украины, г. Киев, Украина

Анализ движения кормовой смеси в бункере кормоприготовительного агрегата

В статті описані результати досліджень руху кормової суміші в бункері кормоприготувального агрегата. Теоретичний аналіз дозволив встановити, що при умові, $\omega < 2\Omega$ по осі OZ вплив точкового джерела збурення тиску p' поширюється в цьому випадку по всьому об'єму кормової суміші, причому вплив зменшується з відстанню від джерела збурення по степенному закону. Дослідження дозволили отримати залежності кута між хвильовим вектором \vec{k} і вектором $\vec{\Omega}$, який повинен знаходитися в межах 12-19°, що дозволяє забезпечити ефективне змішування кормових компонентів і уникнення застоїв.

кормоприготувальний агрегат, змішувальний ротор, кормова суміш, хвильовий вектор, ефективне змішування

Постановка проблеми. Основа ефективного розвитку галузі тваринництва є повноцінна годівля, яка забезпечується, в першу чергу, наявністю достатньої кількості кормів, зменшенням їх втрат, поживності при заготівлі і зберіганні, а також правильною підготовкою до згодовування.

Поряд з тим, головними факторами повноцінної годівлі є: повний набір незамінних поживних речовин, своєчасне і оптимально узгоджене в кількісному відношенні надходження їх в організм тварин. Для достатнього повного задоволення потреб тварин у поживних речовинах їх раціони, згідно даних наукових досліджень, повинні бути збалансованими та приготовленими у вигляді кормової суміші. Змішування кормових компонентів для приготування кормосуміші є одним із основних завершальних технологічних процесів у кормоприготуванні, який полягає у забезпеченні рівномірного розподілу частинок кожного компонента в об'ємі суміші взаємним їх переміщенням під дією зовнішніх сил. Якість технологічного процесу змішування кормових компонентів оцінюють ступенем однорідності кормосуміші, який повинен відповідати зоотехнічним вимогам і перебувати в межах 85...95%.

Практичний досвід свідчить про те, що через порушення режиму годівлі та поїння продуктивність дійних корів знижується приблизно на 15%, а неякісно приготовані корми спричиняють захворювання тварин і зниження приростів на 10–15% [1, 2]. Кормові суміші з різних компонентів готують за допомогою кормоприготувальних агрегатів. Наразі в Україні, як і загалом у світовій практиці для приготування кормів, дедалі більшого поширення набувають кормоприготувальні агрегати, які поєднують операції подрібнення і змішування, транспортування і дозованого роздавання кормів на кормові столи. Ці агрегати вирізняються мобільністю, простотою конструкції, однак, робочі органи таких машин є недостатньо вивченими з позиції енергетичних ресурсів, а створення принципово нових конструкцій вимагає проведення додаткових досліджень.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Удосконаленню і різностороннім дослідженням кормоприготувальних машин присвячено праці багатьох вчених [3-8].

Основними задачами, що вирішувалися дослідниками є підвищення показників технологічної ефективності та надійності роботи машин і обладнання, які використовуються в процесі приготування кормових компонентів до згодовування та роздавання кормової суміші в годівниці та на кормові столи тваринам. Дослідженням, пов'язаним з використанням енергетичних ресурсів кормоприготувальними агрегатами та обґрунтуванням параметрів таких машин приділено недостатньо уваги. Це пояснюється тим, що для приготування кормових компонентів використовували спеціальні машини, які подрібнювали окремі види кормових компонентів або машини, які входили до складу кормоцехів, наприклад КОРК-15, та приготування кормових компонентів здійснювали в безперервному режимі і були досліджені раніше [1- 3, 7, 8].

У навчально-науково-виробничій лабораторії Механізації виробничих процесів у тваринництві на базі ВП НУБП України НДГ "Агрономічна дослідна станція"

Національного університету біоресурсів і природокористування України, м. Київ, було проведено теоретико-експериментальні дослідження процесу приготування кормової суміші на молочнотоварній фермі та виявлено зниження енергетичних показників, а також підвищення однорідності кормової суміші [3-5], однак питання уникнення застійних зон досліджені не в повній мірі.

Постановка завдання. Зважаючи на викладене вище, актуальною задачею є виявлення точкового джерела збурення кормової суміші для забезпечення ефективного змішування кормових компонентів та уникнення застійних зон в бункері кормоприготувального агрегату.

Виклад основного матеріалу. Рух кормової суміші в бункері кормоприготувального агрегату забезпечує шнековий робочий орган. При сходженні кормової суміші із спіралі шнека в надгвинтовому просторі утворюється хвиля. Залежно від геометричних параметрів бункера та шнекового робочого органу утворена хвиля сприяє ефективному змішуванню кормових компонентів та утворенню однорідної суміші.

Введемо циліндричні координати (r, φ, z) з віссю z вздовж вектора $\vec{\Omega}$, (рис. 1.), де Ω – кутова швидкість обертання кормової суміші, с^{-1} .

Своєрідний тип внутрішніх хвиль може розповсюджуватись у кормовій суміші, яка рівномірно обертається. (При цьому вважатимемо кормову суміш такою, що не стискається, тобто її щільність ρ незмінна у часі й просторі). Походження цих хвиль пов'язане із виникаючими при обертанні силами Кориоліса [9-13].

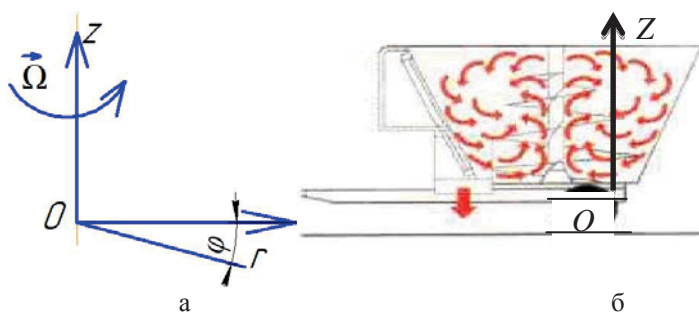


Рисунок 1 – Рух кормової суміші а) в циліндричних координатах; б) в бункері кормоприготувального агрегату

Джерело: розроблено автором

Розглянемо кормову суміш у системі координат, яка обертається разом із нею. Як відомо, при такому описі у механічні рівняння руху слід додатково ввести сили – відцентрову та Кориоліса.

$$\frac{\partial \vec{v}}{\partial t} + (\vec{v} \cdot \vec{\nabla}) \cdot \vec{v} = -\frac{1}{\rho} \text{grad} p, \quad (1)$$

де \vec{v} – швидкість руху кормової суміші, м/с;

p – тиск, Па;

ρ – щільність кормової суміші, кг/м^3 ;

$\vec{\nabla}$ – оператор «набла», $\vec{\nabla} = \frac{\partial}{\partial x} \cdot \vec{i} + \frac{\partial}{\partial y} \cdot \vec{j} + \dots \frac{\partial}{\partial z} \cdot \vec{k}$;

$(\vec{i}, \vec{j}, \vec{k})$ – орти вдовж декартової системи координат, або оператор Гамільтона.

Оскільки, кормова суміш знаходиться у полі тяжіння, то рівняння має вид:

$$\frac{\partial \vec{v}}{\partial t} + (\vec{v} \cdot \vec{\nabla}) \cdot \vec{v} = -\frac{\nabla p}{\rho} + \vec{g}, \quad (2)$$

де \vec{g} – прискорення вільного падіння, м/с².

Відцентрова сила може бути подана у вигляді градієнта $\nabla \left[\vec{\Omega} \cdot \vec{r} \right]^2 / 2$,

де $\vec{\Omega}$ – вектор кутової швидкості обертання кормової суміші,
 \vec{r} – радіус бункера, м.

Відповідно відцентрову силу можна об'єднати з силою $\left(\frac{\nabla p}{\rho} \right)$, вводячи ефективний тиск p^* :

$$p^* = p - \frac{\rho}{2} \left[\vec{\Omega} \cdot \vec{r} \right]^2. \quad (3)$$

Коріолісова сила дорівнює $2[\vec{v} \cdot \vec{\Omega}]$. Вона проявляє себе лише при русі рідини відносно системи координат, що обертається (\vec{v} – швидкість у цій системі). Причому, як і відцентрова сила, сила Коріоліса записана як сила віднесена до одиничної маси кормової суміші. Отже, остаточно рівняння набуває вигляду:

$$\frac{\partial \vec{v}}{\partial t} + (\vec{v} \cdot \vec{\nabla}) \cdot \vec{v} + 2[\vec{v} \cdot \vec{\Omega}] = -\frac{1}{\rho} \nabla p^* + \vec{g}. \quad (4)$$

Рівняння неперервності для кормової суміші, що не стискається, має вигляд:

$$\text{div} \vec{v} = 0. \quad (5)$$

У подальшому вважаємо амплітуду хвилі малою, тому нехтуємо членом $(\vec{v} \cdot \vec{\nabla}) \cdot \vec{v}$ у (4) рівнянні. Вважаючи, що p' – змінна частина тиску у хвилі, й нехтуючи гравітаційною складовою (\vec{g}), матимемо:

$$\frac{\partial \vec{v}}{\partial t} + 2[\vec{v} \cdot \vec{\Omega}] = -\frac{1}{\rho} \nabla p'. \quad (6)$$

Отже, вважаючи, що $\vec{v} = \{V_r, V_\varphi, V_z\} \cdot \exp\{i \cdot (kz - \omega t)\}$, з (6), маємо:

де k – хвильовий вектор,

t – час, с;

ω – частота (кругова) розповсюдження хвилі, с⁻¹.

$$\begin{cases} -i \cdot \omega \cdot V_r - 2 \cdot \Omega \cdot V_\varphi = -\frac{1}{\rho} \cdot \frac{\partial p'}{\partial r}; \\ -i \cdot \omega \cdot V_\varphi - 2 \cdot \Omega \cdot V_r = 0; \\ -i \cdot \omega \cdot V_z = -\frac{ik}{\rho} \cdot p'. \end{cases} \quad (7)$$

Рівняння неперервності набуває виду:

$$\frac{1}{r} \cdot \frac{\partial}{\partial r} (r \cdot V_r) + ik \cdot V_z = 0. \quad (8)$$

Виражаємо V_φ й p' через V_r , з (7) та (8), а потім підставляємо усе у перше рівняння системи (7), тоді маємо:

$$\frac{d^2 F}{dr^2} + \frac{1}{r} \cdot \frac{dF}{dr} + \left[\frac{4\Omega^2 k^2}{\omega^2} - k^2 - \frac{1}{r^2} \right] \cdot F = 0, \quad (9)$$

де $F = F(r)$ – функція, що визначає радіальну залежність швидкості V_r :

$$V_r = F(r) \cdot \exp\{i \cdot (\omega t - kz)\}. \quad (10)$$

Для розв'язку (9), який перетворюється у нуль при $r = 0$ (умова скінченності розв'язку задачі для будь-якого r), маємо:

$$F = \text{const} \cdot I_1 \left(kr \cdot \sqrt{\frac{4\Omega^2}{\omega^2} - 1} \right), \quad (11)$$

де I_1 – функція Бесселя першого порядку від дійсного аргументу $kr \cdot \sqrt{\frac{4\Omega^2}{\omega^2} - 1}$.

При цьому, умовою дійсності цього аргументу є нерівність:

$$\frac{4\Omega^2}{\omega^2} - 1 > 0 \Rightarrow \frac{4\Omega^2}{\omega^2} > 1 \Rightarrow 4\Omega^2 > \omega^2 \Rightarrow \omega < 2\Omega. \quad (12)$$

Вся картина руху у хвилі розпадається на області, обмежені коаксіальними циліндричними поверхнями з радіусами r_n , які визначаються рівностями:

$$k \cdot r_n \cdot \sqrt{\frac{4\Omega^2}{\omega^2} - 1} = x_n, \quad (13)$$

де x_1, x_2, \dots – послідовні нулі функції $I_1(x)$. На цих поверхнях $V_r = 0$, інакше кажучи, кормова суміш ніколи не перетинає їх (рис. 2.)

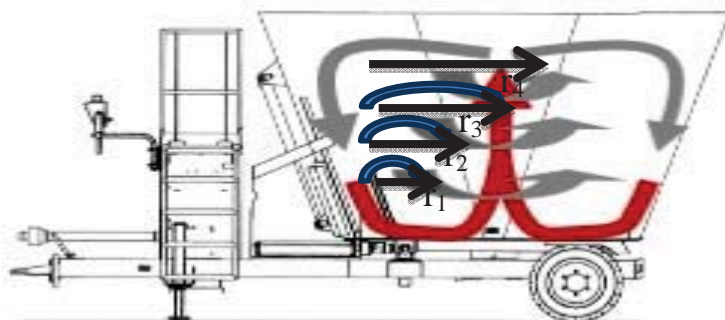


Рисунок 2 – Траєкторії руху хвиль кормової суміші, що обертаються з круговою частотою Ω навколо вісі

Джерело: розроблено автором

Слід зазначити, що для розглядуваних хвиль у необмеженій кормовій суміші частота хвиль ω не залежить від хвильового вектора k (тобто відсутня дисперсія таких хвиль). Можливі значення частоти ω все ж таки обмежені умовою $\omega < 2\Omega$. Інакше, рівняння (9) не має розв'язків, які задовольняють умови скінченності.

Розглянемо рівняння, яке описує довільне мале збурення тиску (p) у кормовій суміші, що обертається.

Будемо виходити з рівняння (6), яке можна розписати у компонентах. Це дає наступну систему рівнянь:

$$\begin{cases} \frac{\partial V_x}{\partial t} - 2 \cdot \Omega \cdot V_y = -\frac{1}{\rho} \cdot \frac{\partial p'}{\partial x}; \\ \frac{\partial V_y}{\partial t} + 2 \cdot \Omega \cdot V_x = -\frac{1}{\rho} \cdot \frac{\partial p'}{\partial x}; \\ \frac{\partial V_z}{\partial t} = -\frac{1}{\rho} \cdot \frac{\partial p'}{\partial z}. \end{cases} \quad (14)$$

Продиференціюємо ці три рівняння відповідно по x , y , z й складемо їх з урахуванням рівняння $\text{div} \vec{V} = 0$ (рівняння неперервності для кормової суміші, що не стискається).

Матимемо:

$$\frac{1}{\rho} \cdot \Delta p' = 2\Omega \cdot \left(\frac{\partial V_y}{\partial x} - \frac{\partial V_x}{\partial y} \right), \quad (15)$$

де $\Delta = \left(\frac{\partial^2}{\partial x^2} + \frac{\partial^2}{\partial y^2} + \frac{\partial^2}{\partial z^2} \right) = (\vec{\nabla} \cdot \vec{\nabla})$ – оператор Лапласа.

Диференціювання рівняння (15) за часом t , із врахуванням рівнянь (14), дає можливість отримати вираз:

$$\frac{1}{\rho} \cdot \frac{\partial}{\partial t} (\Delta p') = 4\Omega^2 \cdot \frac{\partial V_z}{\partial z} \quad (16)$$

наступне диференціювання за часом t приводить до кінцевого рівняння:

$$\frac{\partial^2}{\partial t^2} (\Delta p') + 4\Omega^2 \cdot \frac{\partial^2 p}{\partial z^2} = 0. \quad (17)$$

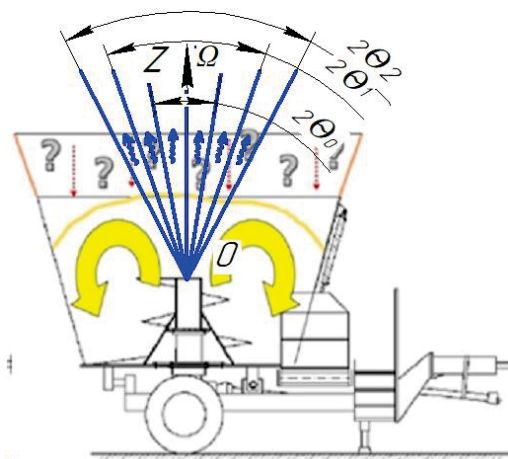
Для періодичних збурень з частотою ω рівняння (17) зводиться до наступного:

$$\frac{\partial^2 p'}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 p'}{\partial y^2} + \left(1 - \frac{4\Omega^2}{\omega^2} \right) \frac{\partial^2 p'}{\partial z^2} = 0 \quad (18)$$

Для хвиль виду: $\vec{V} = \vec{A} \cdot \exp\{i[(\vec{k} \cdot \vec{r}) - \omega t]\}$, $i^2 = -1$, з (18) можна отримати дисперсійне співвідношення:

$$\omega = 2\Omega \cdot \frac{kz}{k} = 2\Omega \cdot \cos \theta, \quad (19)$$

де $\theta = (\vec{k}, \vec{n})$ – кут між хвильовим вектором \vec{k} та вектором $\vec{\Omega}$. При цьому, $\omega < 2\Omega$ й коефіцієнт при $\frac{\partial^2 p'}{\partial z^2}$ у рівнянні (18) від'ємний. Збурення від точкового джерела розповсюджуються вздовж твірних конуса з віссю вздовж Ω й кутом розхилу 2θ , де $\sin \theta = \frac{\omega}{2\Omega}$ (рис. 3).

Рисунок 3 - Траєкторії руху хвиль від точкового джерела збурення p'

Джерело: розроблено автором

Висновки. На основі проведення досліджень вдалося встановити наступне:

1. За умови, що $\omega < 2\Omega$ на вісі OZ вплив точкового джерела збурення (тиску p') простягається у цьому випадку по всьому об'єму кормової суміші, причому вплив спадає при віддаленні від джерела збурення за степеневим законом.
2. Для забезпечення ефективного змішування кормових компонентів та уникнення застійних зон, кут 2θ повинен знаходитись в межах $12-19^\circ$.

Список літератури

1. Машини та обладнання для тваринництва / Ревенко І.І. та ін. Київ: ТОВ «ЦП Компринт», 2018. 567 с.
2. Машини і обладнання для тваринництва / Ревенко І.І. та ін. Ніжин: ПП Лисенко М.М., 2017. 304 с.
3. Vasyl Khmelovskiy, Study of process of cooking a high-energy feed mixtures for cattle. ТЕКА. An International Quarterly Journal on Motorization, Vehicle Operation, Energy Efficiency and Mechanical Engineering. Lublin–Rzeszów, 2018. Vol. 18. No 1. P. 39-43.
4. Новицький А.В., Новицький Ю.А. Класифікація робочих органів типу «ніж» засобів для приготування і роздавання кормів. *Науковий вісник Національного університету біоресурсів і природокористування України. Серія: Техніка та енергетика АПК.* Київ, 2017. Вип. 262 (2017). С. 287-296.
5. Новицький А.В., Новицький Ю.А. Технічна оцінка споживчих якостей сільськогосподарської техніки. *Науковий вісник Національного університету біоресурсів і природокористування України. Серія: Техніка та енергетика АПК.* Київ, 2017. Вип. 264 (2017). С. 293-303.
6. Новицький А.В. Дослідження динаміки зміни показників надійності засобів для приготування і роздачі кормів. *Науковий вісник Національного університету біоресурсів і природокористування України. Серія: техніка та енергетика АПК.* Київ, 2016. Вип. 241, ч. 1. С. 334-338.
7. Хмельовський В. С. Перспективні технологічні рішення підготовки кормів для згодовування рогатій худобі. *Науковий вісник Національного університету біоресурсів і природокористування України. Серія: техніка та енергетика АПК.* Київ, 2013. Вип. 185, ч. 2. С. 390-394.
8. Хмельовський В. С., Ачкевич О. М. Дослідження процесу приготування високоенергетичної кормової суміші для ВРХ. *Науковий вісник Національного університету біоресурсів і природокористування України. Серія: техніка та енергетика АПК.* Київ, 2017. Вип. 262. С. 304-314.
9. Численное исследование структуры течения и теплообмена при закрученном течении битумно-дисперсных систем в цилиндрических каналах / Базуев В. П. и др. *Вестник Томского гос. архит. – строит.ун-та*, 2014. № 2. С. 80–93.
10. Матвиенко О. В., Базуев В. П., Южанова Н. К. Математическое моделирование течения закрученного потока псевдопластической жидкости в цилиндрическом канале. *Инженерно-физический журнал*, 2014. Т. 87, № 1. С. 192-199.

11. Ногин Н.В. Периодическое движение вязкой несжимаемой жидкости по неограниченной цилиндрической трубе. *Вісник НТУ «ХПИ»*. Харків, 2013. № 16 (989). С. 182-186.
12. Матвиенко О. В., Базуев В. П., Туркасова Н. Г., Байгулова А. И. Исследование процесса модификации битума в инжекторном смесителе. *Вестник Томского гос. архит. – строит.ун-та*, 2013. № 3. С. 202–213.
13. Матвиенко О. В., Базуев В. П., Дульзон Н. К. Математическое моделирование течения закрученного потока дилатантной жидкости в цилиндрическом канале. *Инженерно-физический журнал*, 2014.Т. 87, № 1. С. 192-199.

References

1. Revenko, I.I. et al. (2018). Mashyny ta obladnannya dlya tvarynnyctva. [Machines and equipment for livestock breeding]. Kyiv: TOV «CzP Kompry`nt» [in Ukrainian].
2. Revenko. I.I. et al. (2017). Mashyny ta obladnannya dlya tvarynnyctva. [Machines and equipment for livestock breeding]. Nizhyn: PP Lysenko M.M. [in Ukrainian].
3. Khmelovskiy, V. (2018). Study of process of cooking a high-energy feed mixtures for cattle. TEKA. An International Quarterly Journal on Motorization, Vehicle Operation, Energy Efficiency and Mechanical Engineering. Lublin–Rzeszów, Vol. 18, 1, 39-43. [in Poland].
4. Novitskiy, A.V., Novytskyi, Y.A. (2017). Klasyfikaciya robochyx organiv typu «nizh» zasobiv dlya prygotovannya i rozdavannya kormiv [Classification of working tools of the "knife type" for the preparation and distribution of feed]. *Naukovyj visnyk Nacionalnogo universytetu bioresursiv i pryrodokorystuvannya Ukrainy. Seriya: Teknika ta eneretyka APK. - Scientific Bulletin of the National University of Bioresources and Nature Management of Ukraine. Series: Engineering and Power Engineering of Agroindustrial Complex, Vol. 262, 287-296.* [in Ukrainian].
5. Novitskiy, A.V., Novytskyi, Y.A. (2017). Texnichna ocinka spozhyvchyx yakostej silskogospodarskoyi teknyky [Technical evaluation of consumer qualities of agricultural machinery]. *Naukovyj visnyk Nacionalnogo universytetu bioresursiv i pryrodokorystuvannya Ukrainy. Seriya: Teknika ta eneretyka APK. - Scientific Bulletin of the National University of Bioresources and Nature Management of Ukraine. Series: Engineering and Power Engineering of Agroindustrial Complex, Vol. 264, 293-303.* [in Ukrainian].
6. Novitskiy, A.V. (2016) Doslidzhennya dynamiky zminy pokaznykiv nadijnosti zasobiv dlya prygotovannya i rozdachi kormiv [Investigation of the dynamics of changes in the reliability indicators of means for the preparation and distribution of feeds]. *Naukovyj visnyk Nacionalnogo universytetu bioresursiv i pryrodokorystuvannya Ukrainy. Seriya: tekhnika ta eneretyka APK. - Scientific Bulletin of the National University of Life and Environmental Sciences of Ukraine. Series: engineering and power engineering of agroindustrial complex, Vol. 241, part 1, 334-338.* [in Ukrainian].
7. Khmelovskiy, V.S. (2013). Perspektyvni texnologichni rishennya pidgotovky kormiv dlya zgodovuvannya rogatij xudobi [Promising technological solutions for the preparation of feed for feeding cattle]. *Naukovyj visnyk Nacionalnogo universytetu bioresursiv i pryrodokorystuvannya Ukrainy. Seriya: tekhnika ta eneretyka APK. - Scientific herald of the National University of Bioresources and Nature Management of Ukraine. Series: engineering and power engineering of agroindustrial complex, Vol. 185, part 2, 390-394.* [in Ukrainian].
8. Khmelovskiy, V.S., Achkevich, O.M. (2017). Doslidzhennya procesu prygotovannya vysokoenergetychnoyi kormovoyi sumishi dlya VRX. [Investigation of the process of preparation of a high-energy feed mixture for cattle]. *Naukovyj visnyk Nacionalnogo universytetu bioresursiv i pryrodokorystuvannya Ukrainy. Seriya: tekhnika ta eneretyka APK. - Scientific herald of the National University of Bioresources and Nature Management of Ukraine. Series: engineering and power engineering of agroindustrial complex, Vol. 262, 304-314.* [in Ukrainian].
9. Bazuyev, V.P, Matvienko, O.V, Dulzon, N.K., Smirnova, N.G., Agafonova, M.V. (2014). Chylennoe yssledovanye struktury techenyya y teploobmena pryzakruchenom techenyy bytumno-dyspersnykh system v cylyndrycheskyyh kanalah [A numerical study of the structure of flow and heat exchange under the twisted flow of bitumen-disperse systems in cylindrical channels]. *Vestnyk Tomskogo gos. arxyt. – stroyt. un-ta. – Vestnik Tomsk state archit - builds Un-that, 2, 80 - 93.* [in Russian]
10. Matvienko, O.V, Bazuev, V.P, Yuzhanova, N.K. (2014). Matematycheskoe modelyrovanye techenyya zakruchenogo potoka psevdoplastycheskoj zhydkosty v cylyndrycheskom kanale [Mathematical modeling of the flow of a twisted flow of a pseudoplasty liquid in a cylindrical channel]. *Ynzhenerno-fyzycheskyj zhurnal. – Engineering-Physical Journal, Vol. 87, 1, 192 - 199.* [in Russian]

11. Nogin, N.V. (2013.) Peryodicheskoe dvizhenye vyazkoj neszhymaemoj zhydkosty po neogranychenoj cylyndrycheskoj trube [Periodic motion of a viscous incompressible fluid in an unlimited cylindrical tube]. *Visnyk NTU «XPI»*. – *Bulletin of the NTU "KhPI"*, 16, 182-186. [in Ukrainian].
12. Matvienko, O.V, Bazuev, V.P, Turkasova, N.G., Baigulova, A.I. (2013). Yssledovanye processa modyfikacyy bytuma v ynzhektornom smesytele [Research of the process of modification of bitumen in an injector mixer]. *Vestnyk Tomskogo gos. arxyt. – stroyt. un-ta. – Vestnik Tomskogo gos. archit - builds Un-that*. 3, 202 - 213. [in Russian]
13. Matvienko, O.V., Bazuev, V.P., Dulzon, N.K. (2014). Matematycheskoe modelyrovanye techenyya zakruchenogo potoka dylatantnoj zhydkosty v cylyndrycheskom kanale [Mathematical modeling of the flow of a twisted flow of a dilatant fluid in a cylindrical channel] *Ynzhenerno-fyzycheskyj zhurnal. – Engineering-Physical Journal*. Vol. 87, 1, 192 - 199. [in Russian]

Vasyl Khmelovskiy, Assoc. Prof., PhD tech. sci.

National University of Life and Environmental Sciences of Ukraine, Kyiv, Ukraine

Analysis of the Feed Mix in the Hopper of the Feed Preparation Unit

The purpose of the article is to detect the position of the OZ axis of a point source of permeation of the feed mixture, which affects the effectiveness of the mixing of feed components and ensures the avoidance of stagnant zones in the hopper of the feed preparation unit.

The movement of the feed mixture in the hopper of the feed preparation unit provides a screw working organ in cylindrical coordinates (r, φ, z) with an axis z along the vector Ω of the angular velocity of the feed mixture. When the fodder mixture comes from a spiral of a screw in a super-spiral space, a wave forms.

Depending on the geometric parameters of the bunker and the screw working organ, the wave formed promotes the effective mixing of feed components and the formation of a homogeneous mixture.

The article describes the results of research on the movement of the feed mixture in the hopper of the feed preparation unit. The theoretical analysis has made it possible to establish that, provided $\omega < 2\Omega$ on the axis of OZ, the influence of the point source of perturbation of pressure p' extends in this case throughout the volume of the feed mixture, and the effect decreases in the distance from the source of perturbation by the power law.

The studies allowed to obtain angular dependences between the wave vector \vec{k} and the vector $\vec{\Omega}$, which makes it possible to ensure consistent mixing of feed components inside the bunker

A peculiar type of internal waves propagates in a feed mixture that is evenly rotated. (In this case we consider the feed mixture to be non-compressible, ie, its density ρ is constant in time and space). The origin of these waves is due to the emergence of Coriolis forces and constant feeding of the feed mixture with a screw.

On the basis of the research it was succeeded to establish the following.

Assuming that $\omega < 2\Omega$ on the OZ axis, the influence of the point source of perturbation (pressure p') extends in this case throughout the volume of the feed mixture, with the effect decreasing in the distance from the source of perturbation by the power law.

To ensure effective mixing of feed components and avoidance of stagnant zones, the angle 2θ should be within the range of 12-19°.

feed preparation unit, mixing rotor, feed mixture, wave vector, efficient mixing

Одержано (Received) 4.12.2018

Прорецензовано (Reviewed) 14.12.2018

Прийнято до друку (Approved) 20.12.2018