Machinery & Energetics. Journal of Rural Production Research. Kyiv. Ukraine. 2019, Vol. 10, No 3, 57-61
ISSN 2663-1334 (print), ISSN 2663-1342 (online), www.journals.nubip.edu.ua/index.php/Tekhnica

DOI: 10.31548/machenergy.2019.03.057-061

УДК 631.331.922

ПОКРАЩЕННЯ ЯКОСТІ РОБОТИ БУНКЕРА-ДОЗАТОРА ПРОТРУЮВАЧА НАСІННЯ

О. М. Вечера

Національний університет біоресурсів і природокористування України, Україна.

Стаття з спеціальності: 133 – галузеве машинобудування.

Кореспонденція автора: olegv@meta.ua.

Історія статті: отримано – квітень 2019, акцептовано – серпень 2019.
Бібл. 11, рис. 1, табл. 0.

Анотація. Розглянуто питання вдосконалення бункера-дозатора насіння. В результаті проведених досліджень запропоновано вдосконалення бункера та визначені необхідні параметри зміни для рівномірного неперервного дозування насіння сільськогосподарських культур, що важливе в багатьох галузях сільськогосподарського машинобудування, де потрібне якісне дозування сипких зернистих матеріалів, особливо в протруювачах насіння. Запропоноване вдосконалення дозволяє підвищити рівномірність дозування насіння сільськогосподарських культур незалежно від висоти заповнення ним бункера та зернистих матеріалів в інших галузях та зменшення металоємкості і габаритів відповідних машин, у яких застосовуються такі бункери.

Ключові слова: бункер, тертя, тиск, рівномірність, дозатор, вібрація.

Постановка проблеми

У різних виробництвах поширені операції вантаження-розвантаження сипких зернистих матеріалів в технологічні і транспортуючі пристрої. Невід'ємною частиною устаткування для таких операцій є різного роду бункери, що встановлюються в місцях сполучення основного, транспортуючого і допоміжного устаткування. Окрім цього бункери застосовуються для зберігання різних матеріалів, а також для їх об'ємного і вагового дозування.

Сипкі матеріали дуже різноманітні по своєму гранулометричному складу, щільності, вологості і іншим фізіко-механічним властивостям і по здатності витікання з бункерів. При роботі з вологими, липкими, такими, що злежуються матеріалами дуже часті випадки порушення та нестабільність роботи бункерів, що полягають в утворенні зведень над випускним отвором бункера, внаслідок чого витікання матеріалу частково або повністю припиняється. Іншою причиною порушення нормальної роботи бункерів є утворення пасивних зон, коли витікання матеріалу відбувається тільки із зони, розташованої над випускним отвором (трубоутворювання), що істотно зменшує продуктивність, стабільність і корисну ємність бункера.

Дозатори, що поєднують дозування насіння з розподіленням та формуванням його потоку потрібної щільності внаслідок гальмівної дії розподільних пристроїв значно зменшують потенційну продуктивність протруювача. Тому потрібно вдосконалити проточний дозатор, що забезпечує рівномірне неперервне дозування насіння сільськогосподарських культур незалежно від висоти заповнення ним бункера аж до повного спорожнення його.

Аналіз останніх досліджень

Результати досліджень процесу висипання сипких матеріалів із місткостей свідчать, що геометричні характеристики місткостей і дозувальних отворів та їх співвідношення, а також рівень заповнення місткостей суттєво впливають на рівномірність дозування сипких матеріалів проточними дозаторами об’ємного типу. Аналіз дозувальних пристроїв серійних протруювачів свідчить, що в їх конструкціях ці закономірності не враховуються. Так, продуктивність дозаторів з пасивними розподільниками насіння визначається площею живого перетину кільцевого отвору випускної горловини бункера та конструктивними параметрами розподільника насіння. Продуктивність дозаторів з активними розподільниками залежить від частоти обертання розподільника та його конструкції (диск або конус), а дозаторів протруювачів інерційно-фрикційного типу [1], у яких робочий орган одночасно є активним розподільником насіння – ще й від параметрів бокової поверхні робочого органа

Найбільш повно фізична сутність процесу висипання зерна через отвори в місткостях вивчалися В. М. Атомяном [2] та Г. М. Бузенковим і С. А. Ма [3], яким вдалося картину висипання насіння обґрунтувати напрямками і швидкостями руху насіння в кожній зоні [2] і взаємним розміщенням частинок сипкого матеріалу в місткості та силами тиску сипких матеріалів на дно і стінки місткості [3]. Причиною утворення склепіння з часточок є

заклинювання їх силами внутрішнього тертя по лінії їх укладки. Чим менший коефіцієнт внутрішнього тертя і чим більший діаметр отвору, тим склепіння менш стійке і тому утворення його можливе лише у випадку висипання сипкого матеріалу через отвори малого діаметра. Висота отвору при постійному діаметрі не впливає на витрату сипкого матеріалу [3]. Аналогічний результат одержаний і в нас.

Робочі процеси сучасних протруювачів насіння неперервної дії включають неперервне і рівномірне дозування насіння і робочої рідини - пестициду, оскільки вони є необхідною передумовою рівномірної обробки насіння препаратом, а отже і досягнення високої ефективності протруювання.

Згідно з результатами досліджень [2-4] вплив умов витікання насіння з бункера на рівномірність потоку визначається параметрами випускного отвору, місткості і висотою заповнення її насінням, а також його фізико-механічними властивостями [5-11].

Мета досліджень

Здобуття якісної оцінки впливу вібрацій бункерів на динаміку зернистого матеріалу, тобто вивчення впливу вібрацій на закони виділення і розподілу тиску в бункерах.

Результати досліджень

Суттєвим резервом з підвищення ефективності та забезпечення безперебійної роботи бункерів є впровадження вібраційних технологій, унікальність яких прослідковується у забезпеченні адаптивного динамічного впливу на різноманітні дисперсні системи за умови значного енергетичного потенціалу їх технологічної обробки. До широкого різноманіття явищ, що виникають внаслідок реалізації вібраційного впливу варто віднести значне зменшення коефіцієнта внутрішнього тертя, активне збільшення питомої поверхні матеріалу при взаємодії з технологічним наповнювачем, ефективне створення значних градієнтів швидкостей зсувних деформацій у мікро- та макрооб’ємах продукції за умови зміни її структурно-механічних характеристик. Принцип вібраційної інтенсифікації заснований на ослабленні структурних зв'язків між частинками сипучого матеріалу та на збільшенні їх відносної рухливості, на силовому руйнуванні зводу, що утворюється над випускним отвором. У випадку використання активних розподільників (як правило, обертових дисків або конусів) гальмівний опір висипанню насіння з випускної горловини бункера ці розподільники створюють внаслідок накопичення в зоні під випускною горловиною шару насіння, що не евакуюється з цієї зони активними розподільниками. В цьому випадку причиною зменшення потенційної продуктивності дозатора є неузгодженість конструктивних параметрів дозатора та режимів роботи активного розподільника і випускної горловини [5]. З метою прискорення евакуації насіння із зони сходу його з розподільника в деяких протруювачах (наприклад ПНУ-4) застосовують додаткові конструктивні елементи – активатори.

Дві основні задачі динаміки зернистих матеріалів (закони витікання і закони розподілу тисків на дно і стінки силосів і бункерів) розглядалися в [6] в припущенні існування досить великих коеффіцієнтов внутрішнього і зовнішнього тертя зерен. Тим часом, кути тертя φ (кут зовнішнього тертя зерен об стінку бункера) і ϕ (кут внутрішнього тертя зерен) у різних сипучих матеріалів змінюються в широких межах, а можуть бути й малими. Можна уявити собі і такий зернистий матеріал, між зернами якого є рідина, наприклад, масляна плівка. У статиці такий матеріал буде вести себе так, як ніби сили зовнішнього і внутрішнього тертя практично відсутні.

До числа факторів, що сприяють зниженню сил сухого тертя, відноситься й коливальний рух бункера і зернистого матеріалу, що знаходиться в ньому. Для мобільних машин - це випадкові коливання бункерів, обумовлені нерівностями дороги, хитавицею судна і т.д. Іноді коливальний рух спеціально надається бункеру і сипучому матеріалу з метою усунення можливості утворення склепінь і отримання більш стійкого витікання. Ефект дії вібрацій на зернисту середу зводиться як би до зниження коефіцієнта тертя, тому що в процесі коливань сили нормального тиску зерен одне до одного та на стінку бункера періодично змінюються. В результаті цього сили, недостатні для взаємного відносного зміщення зерен при їх спокої, можуть бути достатніми для їх переміщень в окремі моменти часу при вібраціях. Тобто рушійна сила буде більша сили тертя і зерно прийде в рух. Загальний ефект зводиться таким чином як би до зменшення коефіцієнту тертя.

У основу цієї оцінки покладений ефект зниження кутів тертя при вібраціях бункерів. Вказана якісна оцінка, очевидно, не може повністю замінити точного кількісного дослідження впливу вібрацій на динаміку зернистого матеріалу. Кількісне дослідження повинне враховувати всі характеристики коливального руху, що здійснюється бункером (поступальні коливання в горизонтальному, вертикальному або похилому напрямах; поступальні коливання по кругових або еліптичних траєкторіях і т.д.; повороти бункера відносно нерухомої або миттєвої осі обертання і тому подібне. Дослідженню впливу поступальних вертикальних коливань на закони виділення присвячена робота [7] та інші.

Відповідно до викладеного, будемо вважати, що із зростанням інтенсивності (частоти і максимального прискорення) вібрацій ефективні кути тертя φ та ϕ знижуються, і в граничному випадку можна уявити собі їх повне зникнення. Це приведе до відповідної зміни коефіцієнтів опору k і нормального тиску k_n та коефіцієнта Янсена $k_б$ (коефіцієнт бокового тиску), що впливає на рівномірність подачі насіння. Припустив φ = ϕ = 0 у формулах коефіцієнтів опору [8] k та нормального тиску k_n, отримаємо їх значення в граничному випадку відсутності тертя – при інтенсивних вібраціях:

$$k = \pm \frac{1}{R_Г} tg\alpha \cdot tg^2\beta; \qquad (1)$$

$$k_n = \frac{tg^2\beta}{2 \pm tg\alpha \cdot tg\beta}; \quad (2)$$

$$k_\sigma = \frac{1}{2} tg^2\beta, \quad (3)$$

де: верхній знак відповідає звужуваному, а нижній – розширювальному бункеру, β – кут укладання зерен сипучого тіла.

З формул видно, що у бункері, що розширюється донизу коефіцієнт опору руху k при вібраціях може стати негативним.

У випадку бункера (силосу) з вертикальними стінками (α=0):

$$k = 0;\ k_\sigma = \frac{1}{2} tg^2\beta, \quad (4)$$

де: β – кут укладання зерен сипучого тіла.

Що до витікання дрібнозернистих матеріалів, то згідно [6, 7] було визначено два можливих типа витікання – нормальне або гідравлічне. Існування того чи іншого типу обумовлено співвідношеннями між фрикційними (φ; ϕ) та розпірними властивостями матеріалу (β), а також пов'язано з формою бункера (α).

Зменшення кутів тертя φ та ϕ змінює значення величин k_o та Θ.

При φ = ϕ = 0 вони приймають такий вигляд:

$$k_o = tg\alpha \cdot tg^2\beta; \quad (5)$$

$$\Theta = \frac{k_o}{tg\alpha} = tg^2\beta. \quad (6)$$

Умови існування першого (Θ > 3) та другого (Θ ≤ 3) типів витікання приймають відповідно вигляд:

β > 60° - перший тип витікання;

β ≤ 60° - другий тип витікання.

Існування першого типу витікання представляється в даному випадку малоймовірним. Онак, повністю виключати цей випадок з розглядання неможна до тих пір, поки не вивчений вплив вібрацій бункера на укладку зерен – величину кута $\beta_{ср}$.

Що до вертикального та нормального тиску зернистих матеріалів при вібраціях бункера та при φ → 0, ϕ → 0 коефіцієнт опору k → 0.

Рівняння для вертикальних тисків в силосі буде мати вигляд:

$$\frac{d\sigma}{dx} = \gamma g, \quad (7)$$

звідки слідує гідростатичний закон розподілу вертикальних тисків:

$$\sigma = \sigma_г = \gamma g x. \quad (8)$$

Таким чином вплив вібрацій силосу на вертикальні тиски зводиться до їх зростання та наближенню до гідростатичних.

Боковий тиск на стінку силосна наближається до значення:

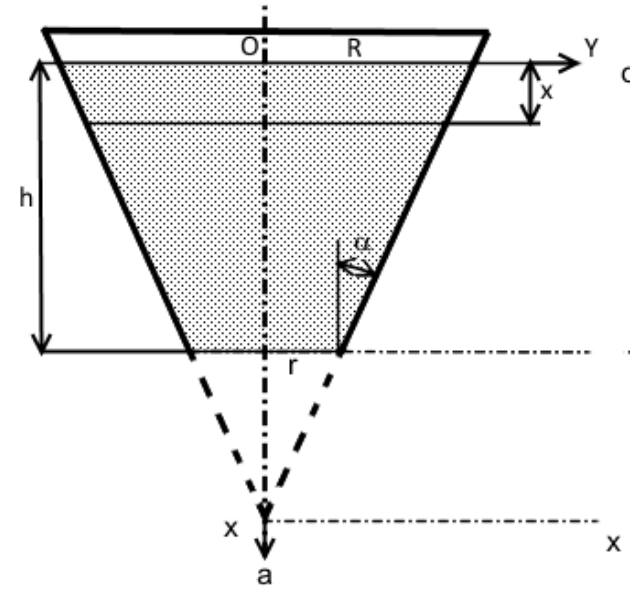
$$\sigma_n = \frac{1}{2}\ \gamma g x\ tg^2\beta, \quad (9)$$

що слідує з формул та для $k_n = k_б$.

У конічного бункера диференційне рівняння при φ = ϕ = 0 буде у такому вигляді:

$$\frac{d\sigma}{dx} + \frac{b(tg^2\beta - 2)}{R - bx}\sigma = \gamma g. \quad (10)$$

Коефіцієнт перед σ у другій складовій лівої частини рівняння позитивний при tgβ > √2 або β > 54°45′ та негативний при β < 54°45′.



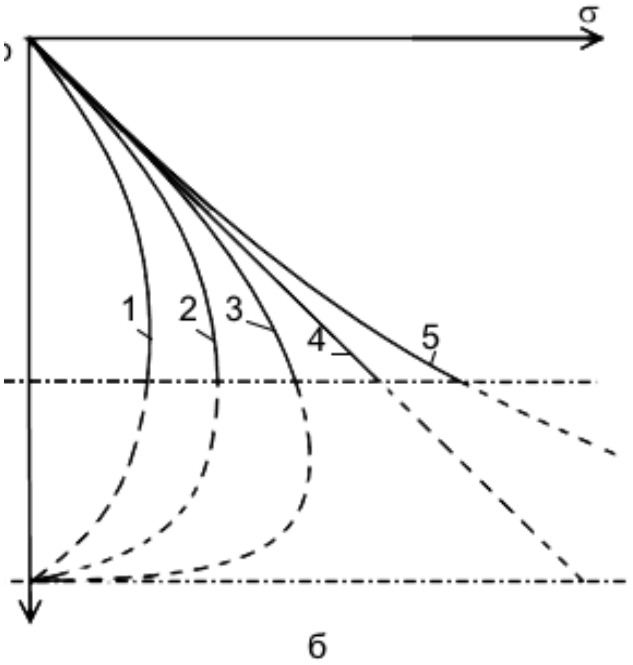


Рис. 1. Визначення вертикального тиску в бункері: а – схема та розміри бункера; б – залежності вертикальних тисків від глибини x розрізу при різних значеннях співвідношення k_o/b=Θ: 1 – 5; 2 – 4; 3 – 3; 4 – 2; 5 – 1,5.

Fig. 1. Calculation of vertical pressure in the silo.

Отже, у випадку β > 54°45′ графіки вертикальних тисків σ = σ (x) аналогічні кривим 1, 2, 3 на рис. 1. При β < 54°45′ графіки вертикальних тисків аналогічні кривій 5 на малюнку, а при β = 54°45′ ми повинна отримати гідростатичний закон розподілення

вертикальних тисків – крива 4.

Висновки

1. Розрахунок і проектування вібраційного обладнання, що забезпечує високу продуктивність, вимагають поглибленого вивчення фізичних закономірностей впливу вібрацій та необхідного їх напряму дії на хід технологічного процесу.

2. Так, результати розрахунків, показують, що при частотах коливань 250-350 Гц швидкість витікання матеріалу при вібрації більше, ніж з нерухомого бункера. Однак зі зменшенням частоти і зростанням амплітуди коливань графік зміни коефіцієнта заповнення в часі набуває ступінчастий характер. Пояснюється це переходом матеріалу в стан віброкиплячого шару, при якому він починає періодично відриватися від дна судини. В цей час витікання матеріалу не відбувається, отже і коефіцієнт не змінюється, а його графік має ступінчастий вигляд. Наявність таких режимів дозволяє здійснювати ще й дискретну подачу матеріалу з бункера.

3. В протруювачах інерційно-фрикційного типу, які поєднують дозування, розподілення і обробку насіння рідкими пестицидами одним робочим органом, продуктивність дозатора визначають ті ж фактори, що й в інших проточних дозаторів з активними розподільниками, та ще й параметри бокової конічної поверхні робочого органу. Узгодження дії усіх цих факторів з обов'язковим врахуванням характеристик насіння, що дозується і обробляється, забезпечує надійну роботу протруювача в цілому, яка, очевидно, можлива у випадку, коли насіння з достатньою швидкістю буде рухатися вверх по твірній конічного робочого органа.

4. В подальшому для більш якісного проектування та розрахунку продуктивності стоїть задача створити модель сипучого матеріалу в умовах вібраційного впливу, побудована з використанням гіпотези суцільності і рівнянь механіки суцільного середовища, яка дозволить досліджувати процеси течії при різних законах вібрації визначати значення щільності, швидкості і напруги в кожній точці розрахункової області, розрахувати максимальну швидкість висипання, а отже й продуктивність конічного бункера з конічним розподільником (дозатором) в середині бункера, який використовується в модифікованих конструкціях протруювачів типу ПНУ-4, ПНУ-10 та розрахувати оптимальні параметри коливань бункера відповідно продуктивності робочого органу – камери протруювання для отримання максимальної продуктивності та мінімальної нерівномірності протруювання насіння з врахуванням вібраційних коливань бункера і самого протруювача.

Список літератури

1. *Тимошенко С. П., Ратушний В. В., Стибель І. В., Мазур Д. М.* Обгрунтування, розробка і дослідження універсального процесу нанесення захисних препаратів на насіння сільськогосподарських культур. Механізація та електрифікація сільського господарства. Глеваха: 2002. Вип. 86. С. 114-121.

2. *Атомян В. М.* Свободное истечение и высев семян зерновыми сеялками. Ереван: Из-во Главного управления с.х. науки МСХ Армянской ССР, 1960, 138 с.

3. *Бузенков Г. М., Ма С. А.* Машины для посева сельскохозяйственных культур. Москва. Машиностроение, 1976, 271 с.

4. *Тимошенко С. П., Вечера О. М., Тимошенко С. І.* Спосіб обробки насіння рідкими препаратами. Патент № 96498 A01C 1/08, 2006/01, п.10/11/2011, бюл. № 21.

5. *Тимошенко С. П., Михайленко М. А.* Разработать рабочие органы протравливателей семян и обосновать их оптимальные параметры. Раздел №2 Отчета по теме №4 НИР УНИИМЭСХ, Глеваха: 1978, 77 с.

6. *Алферов К. В., Зенков Р. Л.* Бункерные установки. Москва. Машгиз. 1955. 308 с.

7. *Барабанская Г. Ф.* О влиянии вибраций на истечение сыпучих материалов из бункера при виброускорениях, не превышающих ускорения силы тяжести. Механика сплошных сред в сельхозмаштностроении: РИСХМ. Ростов на Дону. 1973. С. 86-92.

8. *Гячев Л. В.* Основы теории бункеров. Новосибирск: Изд-во Новосиб. ун-та, 1992. 309 с.

9. *Rogovskii, I. L., Titova, L. L., Trokhaniak, V. I., Rosamaha, Yu. O., Blesnyuk, O. V., Ohiienko, A. V.* Engineering management of two-phase coulter systems of seeding machines for implementing precision farming technologies. INMATEH. Agricultural Engineering. 2019. Bucharest. Vol. 58. No 2. P. 137—146. DOI: 10.35633/INMATEH-58-15. Scopus. WoS.

10. *Ivan Rogovskii, Luidmyla Titova, Viktor Trokhaniak, Oleksandra Trokhaniak, Serhii Stepanenko*. Experimental study on the process of grain cleaning in a pneumatic microbiocature separator with apparatus camera. Bulletin of the Transilvania University of Brasov, Series II: Forestry, Wood Industry, Agricultural Food Engineering. 2019. Vol. 12 (61) No. 1. https://doi.org/10.31926/but.fwiafe.2019.12.61.1.10 pp. 117-128. Scopus.

11. *Rogovskii Ivan, Titova Liudmyla, Novitskii Andriy, Rebenko Victor*. Research of vibroacoustic diagnostics of fuel system of engines of combine harvesters. Proceedings of 18th International Scientific Conference "Engineering for rural development". Jelgava, Latvia, May 22-25, 2019, Latvia University of Agriculture. Faculty of Engineering. Vol. 18, pp. 291-298. DOI: 10.22616/ERDev2019.18.N451. Scopus.

References

1. *Timoshenko S. P., Ratushnyy V. V., Stibel' I. V., Mazur D. M.* (2002). Obosnovaniye, razrabotka i issledovaniye universal'nogo protsessa naneseniya zashchitnykh preparatov na semena

sel'skokhozyaystvennykh kul'tur. Mekhanizatsiya i elektrifikatsiya sel'skogo khozyaystva. Glevakha: Vip. 86. 114-121.

2. *Atomyan V. M.* (1960). Svobodnoye istecheniye i vysev semyan zernovymy seyalki. Yerevan: Iz-vo Glavnogo upravleniya s.kh. nauki MSKH armyanskoy SSR, 138.

3. *Buzenkov G. M., Ma S. A.* (1976). Mashiny dlya poseva sel'skokhozyaystvennykh kul'tur. Moscow. Mashinostroyeniye, 271.

4. *Timoshenko S. P., Vechera A. N., Timoshenko S. I.* (2006). Sposob obrabotki semyan zhidkimi preparatami. Patent. № 96498 A01S 1/08, 2006/01, p.10 / 11/2011, byul.№21.

5. *Timoshenko S. P., Mikhaylenko M. A.* (1978). Razrabotat' rabochiye organy Protravlivatel' semyan i obosnovat' ikh optimal'nyye parametry". Razdel №2 Otcheta po teme №4 NIR UNIIMESKH, Glevakha, 77.

6. *Alferov K. V., Zenkov R. L.* (1955). Bunkernyy ustanovki. Moscow. Mashgiz. 308.

7. *Barabanskaya G. F.* (1973). V vliyanii vibratsiy na istecheniye sypuchikh materialov iz bunkera pri vibrouskoreniya, a ne prevyshayushchem uskoreniya sily tyazhesti. Mekhanika sploshnykh sred v sel'khozmashtnostroyeniy: Sb.n.t. RISKHM. Rostov n / D. 86-92.

8. *Gyachev L. V.* (1992). Osnovy teorii bunkerov. Novosibirsk: Izd-vo Novosib. un-ta, 309.

12. *Rogovskii, I. L., Titova, L. L., Trokhaniak, V. I., Rosamaha, Yu. O., Blesnyuk, O. V., Ohiienko, A. V.* (2019). Engineering management of two-phase coulter systems of seeding machines for implementing precision farming technologies. INMATEH. Agricultural Engineering. Bucharest. Vol. 58. No 2. P. 137—146. DOI: 10.35633/INMATEH-58-15. Scopus. WoS.

13. *Ivan Rogovskii, Luidmyla Titova, Viktor Trokhaniak, Oleksandra Trokhaniak, Serhii Stepanenko*. (2019). Experimental study on the process of grain cleaning in a pneumatic microbiocature separator with apparatus camera. Bulletin of the Transilvania University of Brasov, Series II: Forestry, Wood Industry, Agricultural Food Engineering. 2019. Vol. 12 (61) No. 1. https://doi.org/10.31926/but.fwiafe.2019.12.61.1.10. 117-128. Scopus.

14. *Rogovskii Ivan, Titova Liudmyla, Novitskii Andriy, Rebenko Victor*. (2019). Research of vibroacoustic diagnostics of fuel system of engines of combine harvesters. Proceedings of 18th International Scientific Conference “Engineering for rural development”. Jelgava, Latvia, May 22-25, Latvia University of Agriculture. Faculty of Engineering. Vol. 18, 291-298. DOI: 10.22616/ERDev2019.18.N451. Scopus.

УЛУЧШЕНИЕ КАЧЕСТВА РАБОТЫ БУНКЕРА-ДОЗАТОРА ПРОТРАВЛИВАТЕЛЯ СЕМЯН

О. Н. Вечера

Аннотация. Рассмотрены вопросы совершенствования бункера-дозатора семян. В результате проведенных исследований предложено совершенствование бункера и определены необходимые параметры изменения для равномерного непрерывного дозирования семян сельскохозяйственных культур, что важно во многих отраслях сельскохозяйственного машиностроения, где требуется качественное дозирования сыпучих зернистых материалов, особенно в протравители семян. Предложенное совершенствование позволяет повысить равномерность дозирования семян сельскохозяйственных культур независимо от высоты заполнения им бункера и зернистых материалов в других отраслях и уменьшения металлоемкости и габаритов соответствующих машин, в которых применяются такие бункеры.

Ключевые слова: бункер, трение, давление, равномерность, дозатор, вибрация.

IMPROVEMENT OF QUALITY OF WORK OF SEED TREATER BUNKER-DISPENSER

O. M. Vechera

Abstract. The question of improvement of seed hopper is considered. As a result of researches the improvement of the bunker is proposed and the necessary parameters of change for uniform continuous dosing of crop seeds are determined, which is important in many branches of agricultural engineering, where the high-quality dosing of granular granular materials is required, especially in seed dressers. The proposed improvement makes it possible to increase the dosage uniformity of crops, regardless of the height of the hopper and granular materials in other industries and to reduce the metal consumption and dimensions of the respective machines in which such hoppers are used.

Key words: hopper, friction, pressure, uniformity, dispenser, vibration.

О. М. Вечера ORCID 0000-0002-8828-7119.