УДК 631.331.922

ПОКРАЩЕННЯ ПРОДУКТИВНОСТІ БУНКЕРА ПРОТРУЮВАЧА НАСІННЯ

О. М. Вечера

Національний університет біоресурсів і природокористування України, Україна.

Стаття з спеціальності: 133 – галузеве машинобудування.

Кореспонденція автора: vecheraoleg@nubip.edu.ua.

Історія статті: отримано – червень 2020, акцептовано – жовтень 2020.

Бібл. 15, рис. 2, табл. 0.

Анотація. Розглянуто питання вдосконалення конструкції бункера протруювача насіння. В результаті проведених досліджень запропоновано покращення продуктивності бункера за рахунок запропонованої зміни форми та визначення необхідних параметрів для покращення продуктивності бункера в протруювачах насіння. Запропоноване вдосконалення дозволяє підвищити продуктивність бункера - дозатора насіння сільськогосподарських культур незалежно від висоти заповнення ним бункера та зернистих матеріалів в інших галузях, зменшення металоємкості і габаритів відповідних машин, у яких застосовуються такі бункери.

Ключові слова: бункер, гіперболоїдальний, тертя, тиск, рівномірність.

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, наприклад, як у протруювачах насіння.

Сипкі зернисті матеріали дуже різноманітні по своєму гранулометричному складу, щільності, вологості і іншим фізико-механічним властивостям і по здатності витікання з бункерів. При роботі з вологими, липкими, такими, що злежуються матеріалами дуже часті випадки порушення та нестабільності 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 вивчати та вдосконалювати конструкцію бункера за допомогою оптимальної зміни його конструктивних параметрів, особливо при використанні проточного дозатора, щоб забезпечити рівномірне неперервне дозування насіння сільськогосподарських культур незалежно від висоти заповнення ним бункера аж до повного його спорожнення.

Аналіз останніх досліджень

Результати досліджень процесу висипання сипких матеріалів із місткостей (бункерів) свідчать, що геометричні характеристики місткостей і дозувальних пристроїв (отворів) та їх співвідношення, а також рівень заповнення місткостей суттєво впливають на продуктивність та рівномірність дозування сипких матеріалів проточними дозаторами об'ємного типу. Аналіз дозувальних пристроїв серійних протруювачів свідчить, що в їх конструкціях ці закономірності не враховуються. 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 конструктивних параметрів бокової поверхні робочого органа та конструкції дозатора.

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] та утворенням

склепіння. 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].

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 [7].

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

Дослідженню впливу поступальних вертикальних коливань на закони виділення присвячена робота [6] та інші [8-15].

Мета досліджень

Здобуття якісної оцінки впливу конструктивних параметрів бункерів на динаміку руху зернистого матеріалу, тобто вивчення впливу форми бункерів, (особливо з зустрічним конусом, як у протруювачів насіння інерційно-фрикційного типу) на їх продуктивність.

Результати досліджень

Суттєвим резервом з підвищення ефективності та забезпечення безперебійної роботи бункерів є їх конструктивні параметри, узгоджені з закономірностями витікання з них зернистих матеріалів, особливо з бункерів складних форм, що дозволяє поставити та вирішити важливу практичну задачу – визначити форму бункера, який має найбільшу продуктивність.

В цьому випадку необхідно вид функції площі перетину $F=F(x)$ вибрати такою, щоб максимальна витрата кожного слідуючого (більш вузького) перетину дорівнювала граничній витраті попереднього перетину.

В результаті задача зводиться до пошуку форми бункера, гранична продуктивність якого буде однаковою у всіх перетинах, враховуючи конструктивні особливості бункера-дозатора протруювачів. У випадку використання активних розподільників (як правило, обертових дисків або конусів) гальмівний опір висипання насіння з випускної горловини бункера ці розподільники створюють внаслідок накопичення в зоні під випускною горловиною шару насіння, що не евакуується 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 насіння (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 [5] в припущенні існування досить великих коефіцієнтів внутрішнього і зовнішнього тертя зерен. Тим часом, кут зовнішнього тертя зерен об стінку бункера і 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 статичі такий матеріал буде вести себе так, як ніби сили зовнішнього і внутрішнього тертя практично відсутні.

В кінцічному бункері з радіусом вихідного отвору r_1 та кутом нахилу твірних до вісі конуса $\beta_1 = \arctg b_1$ (рис. 1) вставлений корпус дозуючого пристрою з радіусом основи r_2 ($r_2 < r_1$) та кутом $\alpha = \arctg b_2$. Визначаємо граничну швидкість витікання.

Рис. 1. Бункер з зустрічним конусом.

Fig. 1. Hopper with a counter cone.

Площу поточного поперечного перерізу бункера з абсцисою x знаходимо як різницю площ двох кіл:

$$F = \pi[(r_1 - b_1 x)^2 - (r_2 + b_2 x)^2], \quad (1)$$

її похідна:

$$F' = -2\pi[b_1(r_1 - b_1 x) + b_2(r_2 + b_2 x)]. \quad (2)$$

У дослідженні пропускної спроможності різних перерізів бункера в даному випадку немає необхідності, оскільки очевидно що найменшу пропускну спроможність має кільцевий отвір з абсцисою $x = 0$. Поклавши $x = 0$ у формулах F та F' визначимо параметри отвору:

$$F_0 = \pi(r_1^2 - r_2^2); F'_0 = -2\pi(b_1 r_1 + b_2 r_2). \quad (3)$$

Після чого вираховуємо граничну швидкість по формулі [6]:

$$V_{ip} = \sqrt{-\frac{gF_0}{F_0'}}. \quad (4)$$

Отримуємо:

$$V_{ep} = \sqrt{\frac{g(r_1^2 - r_2^2)}{2(b_1 r_1 + b_2 r_2)}}. \quad (5)$$

В окремих випадках:

- при відсутності зустрічного конуса ($b_2=0, r_2=0$)

$$V_{ep} = \sqrt{\frac{gr_1}{2b_1}}. \quad (6)$$

- у зовнішній циліндр вставлений зустрічний циліндр ($b_2=0, r_2 \neq 0$):

$$V_{ep} = \sqrt{\frac{g(r_1^2 - r_2^2)}{2b_1 r_1}}, \quad (7)$$

- у зовнішній циліндр вставлений зустрічний конус ($b_2=0, r_1 > r_2$):

$$V_{ep} = \sqrt{\frac{g(r_1^2 - r_2^2)}{2b_2 r_2}}. \quad (8)$$

У випадку, коли бункер має форму однопорожнинного гіперboloїда обертання з радіусом горловини у її найвужчій частині r і верхнім радіусом R (рис. 2) знайдемо пропускну спроможність.

Рис. 2. Бункер гіперboloїдальний.

Fig. 2. Hyperboloid bunker.

Рівняння гіперболи (кривої), центр якої зміщений по осі абсцис на відстань H , запишемо у вигляді:

$$\frac{y^2}{r^2} - \frac{(x-H)^2}{b^2} = 1 \quad (9)$$

Тут b - уявна піввісь гіперболи, яка може бути знайдена з умови проходження кривої (119) через точку $A(O;R)$.

Отримаємо:

$$b = \frac{rH}{\sqrt{R^2 - r^2}}. \quad (10)$$

Площу поточного поперечного перерізу гіперboloїда вчислимо по формулі:

$$F = \pi y^2 = \pi r^2 \left[1 + \frac{(x-H)^2}{b^2} \right]. \quad (11)$$

Відповідно:

$$F' = \frac{2\pi r^2}{b^2} (x-H); \quad F'' = \frac{2\pi r^2}{b^2} \quad (12)$$

Підставивши значення, P' і P'' в рівняння (III), определяющее абсцису розривного перерізу, прийдемо до квадратного рівняння відносно x , яке має два корені:

$$x = H \pm \frac{b}{\sqrt{5}}. \quad (13)$$

Корінь, що відповідає знаку "+", знаходиться за межами робочої частини бункера, - в частині гіперboloїда, що розширюється, - і має бути відкинтий. Отже:

$$x_p = H - \frac{b}{\sqrt{5}}; \quad F(x_p) = \frac{6}{5} \pi r^2, \quad (14)$$

$$F'_p = F'(x_p) = -\frac{2\pi r^2}{b\sqrt{5}}. \quad (15)$$

Гранична витрата гіперboloїдального бункера, відповідно до відомих формул визначення пропускну здатності бункера [6], може бути записана у вигляді:

$$q_{ep} = \frac{6}{5\sqrt{5}} \pi r^2 \sqrt{3bg}. \quad (16)$$

А з врахуванням значення b :

$$q_{ep} = \frac{6\pi r^2 \sqrt{3rgH}}{5\sqrt{5}(R^2 - r^2)}. \quad (17)$$

Порівняємо продуктивності q^r і q^k гіперboloїдального і конічного бункерів в припущенні, що вони мають однакові геометричні параметри r, R і H .

Продуктивність конічного бункера:

$$q^k = \pi r^2 \sqrt{\frac{gr}{2b}} = \pi r^2 \sqrt{\frac{grH}{2(R-r)}}. \quad (18)$$

Так, як у конуса:

$$b = tg \alpha = \frac{R-r}{H}. \quad (19)$$

Відношення продуктивностей λ визначається:

$$\lambda = \frac{q^e}{q^k} = \frac{6\sqrt{6}}{5\sqrt{5}} \sqrt{\frac{1-\delta}{1+\delta}} = f(\delta), \quad (20)$$

де $\delta = r/R$.

В результаті досліджень із знайденої формули (20) можливо зробити висновки, що при малих значеннях δ гіперboloїдальні бункери продуктивніші ніж конічні.

При $\delta \rightarrow 0, \lambda \rightarrow \frac{6\sqrt{6}}{5\sqrt{5}} \approx 1,97$ - гіперboloїдальний

бункер може бути майже вдвічі продуктивніше конічного.

Зі збільшенням δ величина λ зменшується та при

$\delta = \frac{6^6 - 5^5}{6^6 + 5^5} \approx 0,875$ продуктивності обох бункерів

однакові, а при $\delta > 0,875$ конічний бункер більш продуктивний, ніж гіперboloїдальний.

Але застосування бункерів з параметром $\delta > 0,875$ практично не доцільно. Отже, при проектуванні бункерних пристроїв необхідно враховувати, що в усіх реальних випадках гіперboloїдний бункер продуктивніший ніж конічний.

В протруювачах інерційно-фрикційного типу, які поєднують дозування, розподілення і обробку насіння рідкими пестицидами одним робочим органом, використовують конічний бункер з конічним розподільником (дозатором) в середині бункера, який використовується в модифікованих конструкціях протруювачів типу ПНУ-4, ПНУ-10 [4] продуктивність дозатора визначають ті ж фактори, що й в інших проточних дозаторів з активними розподільниками, велике значення мають параметри бокової конічної поверхні робочого органу [2, 3]. 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 вгору по твірній конічного робочого органу.

Висновки

1. В результаті досліджень із знайденої формули (20) можливо зробити висновки, що при малих значеннях δ гіперboloїдальні бункери продуктивніші ніж конічні. При $\delta \rightarrow 0$, $\lambda \rightarrow \frac{6\sqrt{6}}{5\sqrt{5}} \approx 1,97$ - гіперboloїдальний бункер може бути майже вдвічі продуктивніший конічного.

2. Зі збільшенням δ величина λ зменшується та при $\delta = \frac{6^6 - 5^5}{6^6 + 5^5} \approx 0,875$ продуктивності обох бункерів однакові, а при $\delta > 0,875$ конічний бункер більш продуктивний, ніж гіперboloїдальний.

3. Але застосування бункерів з параметром $\delta > 0,875$ практично не доцільно. Отже, при проектуванні бункерних пристроїв необхідно враховувати, що в усіх реальних випадках гіперboloїдний бункер продуктивніший ніж конічний.

Список літератури

1. Тимошенко С. П., Ратушний В. В., Стибель І. В., Мазур Д. М. Обґрунтування, розробка і дослідження універсального процесу нанесення захисних препаратів на насіння сільськогосподарських культур. Механізація та електрифікація сільського господарства. Глевах: 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, Глевах: 1978, 77 с.
6. Гячев Л. В. Основы теории бункеров. Новосибирск: Изд-во Новосиб. ун-та, 1992. 309 с.
7. Тримбач С. П., Вечера О. М. Сучасний стан та перспективи розвитку машин для протруювання насіння с.-г. культур. Конструювання, виробництво та експлуатація сільськогосподарських машин, 2011. Вип. 41. С. 406-413.
8. Rogovskii I. L. Probability of preventing loss of efficiency of agricultural machinery during exploitation. Науковий вісник Національного університету біоресурсів і природокористування України. Серія: техніка та енергетика АПК. Київ. 2017. Вип. 258. С. 399-407.
9. Kalinichenko D., Rogovskii I. Method for determining time of next maintenance of combine harvesters. TEKA. An International Quarterly Journal on Motorization, Vehicle Operation, Energy Efficiency and Mechanical Engineering. 2018. Lublin-Rzeszów. Vol. 18. No 1. P. 105-115.
10. Romaniuk W., Polishchuk V., Marczuk A., Titova L., Rogovskii I., Borek K. Impact of sediment formed in biogas production on productivity of crops and ecologic character of production of onion for chives. Agricultural Engineering (wir.ptir.org). Krakow. Poland. 2018. Vol. 22. №1. P. 105-125. <https://doi.org/10.1515/agriceng-2018-0010>.
11. Pylypaka S. F., Nesvidomin V. M., Klendii M. B., Rogovskii I. L., Kresan T. A., Trokhaniak V. I. Conveyance of a particle by a vertical screw, which is limited by a coaxial fixed cylinder. Bulletin of the Karaganda University – Mathematics. 2019. Vol. 95. Issue 3. P. 108-118. doi 10.31489/2019M2/108-119.
12. Rogovskii I. L., Titova L. L., Trokhaniak V. I., Solomka O. V., Popyk P. S., Shvidia V. O., Stepanenko S. P. Experimental studies of drying conditions of grain crops with high moisture content in low-pressure environment. INMATEH. Agricultural Engineering. Bucharest. 2019. Vol. 57. No 1. P. 141-146.
13. Loveikin V., Romasevych Y., Shymko L., Ohienko M., Duczmal W., Potwora W., Titova L., Rogovskii I. Agrotechnics and optimal control of cranes and hoisting machines: monograph. Opole: The Academy of Management and Administration in Opole. 2020. 164 p.
14. Zagurskiy O., Ohienko M., Pokusa T., Zagurska S., Pokusa F., Titova L., Rogovskii I. Study of efficiency of transport processes of supply chains management under uncertainty. Monograph. Opole: The Academy of Management and Administration in Opole. 2020. 162 p.
15. Rogovskii I. L., Titova L. L., Trokhaniak V. I., Rosamaha Yu. O., Blesnyuk O. V., Ohienko M. M., Ohienko 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.

References

1. Timoshenko S. P., Ratushnyy V. V., Stibel' I. V., Mazur D. M. (2002). Substantiation, development and research of the universal process of application of protective drugs on crop seeds. *Mechanization and electrification of agriculture*. Glevaha. 86. 114-121.
2. Atomyan V. M. (1960). Free flow and sowing of seeds with grain seeders. Yerevan: From the Main Department of Agriculture Science Ministry of Agriculture of the Armenian SSR 138.
3. Buzenkov M., Ma S. A. (1976). Sowing machines for agricultural crops. Moscow. Mashinostroyeniye. 271.
4. Timoshenko S. P., Vechera A. N., Timoshenko S. I. Method of treating seeds with liquid preparations. Patent № 96498 A01S 1/08, 2006/01, p.10 / 11/2011, byul.№21.
5. Timoshenko S. P., Mikhaylenko M. A. (1978). To develop the working bodies of seed treaters and substantiate their optimal parameters. Section No. 2 of the Report on topic No. 4 of research work of UNIMESH, Glevakha, 77.
6. Gyachev L. V. (1992). Fundamentals of bunker theory. Novosibirsk: Novosibirsk Publishing House. unta. 309.
7. Trimbach S. P., Vechera O. M. (2011). Current state and prospects of development of machines for seed treatment of agricultural cultures. Design, manufacture and operation of agricultural machinery. 41. 406-413.
8. Rogovskii I. L. (2017). Probability of preventing loss of efficiency of agricultural machinery during exploitation. *Scientific Herald of National University of Life and Environmental Science of Ukraine. Series: Technique and energy of APK*. Kyiv. 258. 399-407.
9. Kalinichenko D., Rogovskii I. (2018). Method for determining time of next maintenance of combine harvesters. *TEKA. An International Quarterly Journal on Motorization, Vehicle Operation, Energy Efficiency and Mechanical Engineering*. 18(1). 105-115.
10. Romaniuk W., Polishchuk V., Marczuk A., Titova L., Rogovskii I., Borek K. (2018). Impact of sediment formed in biogas production on productivity of crops and ecologic character of production of onion for chives. *Agricultural Engineering (wir.ptir.org)*. Krakow. Poland. 22(1). 105-125. <https://doi.org/10.1515/agriceng-2018-0010>.
11. Pylypaka S. F., Nesvidomin V. M., Klendii M. B., Rogovskii I. L., Kresan T. A., Trokhaniak V. I. (2019). Conveyance of a particle by a vertical screw, which is limited by a coaxial fixed cylinder. *Bulletin of the Karaganda University – Mathematics*. 95(3). 108-118. doi 10.31489/2019M2/108-119.
12. Rogovskii I. L., Titova L. L., Trokhaniak V. I., Solomka O. V., Popyk P. S., Shvidia V. O., Stepanenko S. P. (2019). Experimental studies of drying conditions of grain crops with high moisture content in low-pressure environment. *INMATEH. Agricultural Engineering*. Bucharest. 57(1). 141-146.
13. Loveikin V., Romasevych Y., Shymko L., Ohiienko M., Duczmal W., Potwora W., Titova L., Rogovskii I. (2020). Agrotechnics and optimal control of cranes and hoisting machines: monograph. Opole: The Academy of Management and Administration in Opole. 164.
14. Zagurskiy O., Ohiienko M., Pokusa T., Zagurska S., Pokusa F., Titova L., Rogovskii I. (2020). Study of efficiency of transport processes of supply chains management under uncertainty. Monograph. Opole: The Academy of Management and Administration in Opole. 162.
15. Rogovskii I. L., Titova L. L., Trokhaniak V. I., Rosamaha Yu. O., Blesnyuk O. V., Ohiienko M. M., Ohiienko A. V. (2019). Engineering management of two-phase coulter systems of seeding machines for implementing precision farming technologies. *INMATEH. Agricultural Engineering*. 2019. 58(2). 137-146. doi: 10.35633/INMATEH-58-15.

УЛУЧШЕНИЕ КАЧЕСТВА РАБОТЫ БУНКЕРА-ДОЗАТОРА ПРОТРАВЛИВАТЕЛЯ СЕМЯН

О. Н. Вечера

Аннотация. Рассмотрены вопросы совершенствования конструкции бункера протравливателя семян. В результате проведенных исследований предложено улучшение производительности бункера за счет предлагаемой формы и определены необходимые параметры для улучшения производительности бункера в протравливателях семян. Предложенное усовершенствование позволяет повысить производительность бункера-дозатора семян сельскохозяйственных культур независимо от высоты заполнения им бункера и зернистых материалов в других отраслях, уменьшение металлоемкости и габаритов соответствующих машин, в которых применяются такие бункеры.

Ключевые слова: бункер, гиперболидоидальный, трение, давление, равномерность.

IMPROVEMENT OF QUALITY OF WORK OF SEED TREATER BUNKER-DISPENSER

O. M. Vechera

Abstract. The issues of improving the design of the seed treater hopper are considered. As a result of the research carried out, it was proposed to improve the productivity of the hopper due to the proposed shape and determined the necessary parameters to improve the productivity of the hopper in seed treaters. The proposed improvement makes it possible to increase the productivity of the bunker-metering seeds of agricultural crops, regardless of the filling height of the bunker and granular materials in other industries, reducing the metal consumption and dimensions of the corresponding machines in which such bins are used.

Key words: bunker, hyperboloidal, friction, pressure, uniformity.

O. M. Vechera ORCID 0000-0002-8828-7119.