

# ПРОЦЕССЫ И МАШИНЫ АГРОИНЖЕНЕРНЫХ СИСТЕМ

УДК 631.374 (621.8)

А.Ф. Бутенко, А.В. Асатурян, Е.В. Воронов  
A.F. Butenko, A.V. Asaturyan, Ye.V. Voronov

## О КОНСТРУКТИВНЫХ ОСОБЕННОСТЯХ И ПРИНЦИПЕ РАБОТЫ ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОГО ЗЕРНОМЕТATEЛЯ С ЛОПАСТНЫМ БАРАБАНОМ

### THE DESIGN FEATURES AND OPERATION PRINCIPLE OF THE EXPERIMENTAL GRAIN THROWER WITH BLADE DRUM

**Ключевые слова:** зернометатель, бесконечная лента, повреждение зерна, скорость метания, порционный метатель зерна, лопастной барабан.

Технологии послеуборочной обработки зерновых культур подразумевают использование машин для обработки зерновых – метатели зерна. Наибольшим спросом пользуются ленточные метатели зерна с прижимным барабаном, которые имеют существенный недостаток – повреждение зерна при обработке. Целью исследований является совершенствование конструкции ленточного зернометателя с целью снижения травмирования зерна и повышения эффективности работы. На основании анализа технологического процесса работы ленточного зернометателя с полым прижимным барабаном разработано техническое решение – ленточный зернометатель с прижимным лопастным барабаном. На оси вращения лопастной прижимного барабана располагаются лопатки из упругого материала. Лопатки установлены с зазором относительно поверхности бесконечной ленты, равным толщине одного слоя зернового материала. Постановка лопаток позволяет исключить проскальзывание слоев зернового материала относительно друг друга при движении с лентой, повысить равномерность скорости струи зернового материала при метании, уменьшить повреждаемость зерна при обработке, за счет снижения контактного взаимодействия с зерном. В статье рассмотрен технологический процесс работы усовершенствованного метателя зерна, который разделяется на три фазы: подача зерна на ленту; перемещение зерна вместе с лентой и движение порционной струи зерна в воздушной среде. Проведен анализ первой фазы технологического процесса и определены параметры: производительность питателя; форма потока частиц; скорость истечения и поступления зерна на ленту; направление вектора скорости зерна. Обоснована постановка лотка при подаче зернового материала на ленту и факторы,

влияющие на скорость подачи зерна на бесконечную ленту.

**Keywords:** grain thrower, endless belt, grain damage, throwing speed, portioned grain thrower, blade drum.

Post-harvest grain handling technologies involve the use of grain processing machines - grain throwers. Belt throwers with a hold-down drum are in great demand, but they have a significant drawback - they cause grain damage during processing. The research goal was to improve the design of the belt grain thrower in order to reduce grain damage and increase work efficiency. Based on the analysis of the technological process of the operation of a belt grain thrower with a hollow hold-down drum, a technical solution has been developed - a belt grain thrower with a blade drum. Blades of elastic material are mounted on the axis of rotation of the belt grain thrower with a blade drum. The blades are installed with a gap relative to the surface of the endless belt equal to the thickness of one layer of grain material. The installation of the blades eliminates slippage of the layers of grain material relative to each other when moving along the belt, to increase the uniformity of the flow velocity of the grain material when throwing, to reduce the damage to grain during processing, by reducing contact interaction with grain. This paper discusses the technological process of the operation of an advanced grain thrower which is divided into three phases: feeding grain to the belt; the movement of grain along with the belt and the movement of a portioned flow of grain in the air. The first phase of the process was analyzed and the following parameters were defined: feeder performance; particle flow shape; the rate of flow and feed of grain to the belt; direction of grain velocity vector. The installation of the tray when feeding the grain material to the belt and the factors affecting the feed rate of the grain to the endless belt were substantiated.

**Бутенко Александр Федорович**, к.т.н., доцент каф. «Техническая механика и физика», Азово-Черноморский инженерный институт – филиал, Донской государственной аграрной академии. E-mail: butenko.1977@mail.ru.

**Асатурян Андрей Вартавович**, к.т.н., преп., Азово-Черноморский инженерный институт – филиал, Донской государственной аграрной академии. E-mail: asaturyan-a@mail.ru.

**Воронов Евгений Викторович**, к.э.н., доцент, зав. каф. «Технический сервис», Нижегородский государственный инженерно-экономический университет, Нижегородская обл. E-mail: e\_voronov@list.ru.

**Butenko Aleksandr Fedorovich**, Cand. Tech. Sci., Assoc. Prof., Azov-Black Sea Engineering Institute – Branch, Don State Agricultural University. E-mail: butenko.1977@mail.ru.

**Asaturyan Andrey Vartanovich**, Cand. Tech. Sci., Asst. Prof., Azov-Black Sea Engineering Institute – Branch, Don State Agricultural University. E-mail: asaturyan-a@mail.ru.

**Voronov Yevgeniy Viktorovich**, Cand. Econ. Sci., Assoc. Prof., Head, Chair of Technical Service, Nizhny Novgorod State Engineering-Economic University. E-mail: e\_voronov@list.ru.

## Введение

Состояние и перспективы развития сельскохозяйственного машиностроения определяются спросом со стороны производителей сельскохозяйственной продукции и уровнем технологий, основанных на инновационных принципах [1, 2]. Состоянию технических средств и оборудования, применяемых в послеуборочной обработке зерновых, всегда уделялось особое внимание. Не являются исключением и машины, применяемые для транспортирования зерновых, – зернометатели.

Применение зернометательных машин с целью транспортировки зерновых в подавляющем большинстве случаев обусловлено выполнением следующих операций: загрузка и выгрузка из складских помещений, загрузка транспортных средств различного класса, а также обработка зернового вороха на открытых площадках зернотоков (перелопачивание).

Наибольшим спросом при производстве зерновых культур пользуются ленточные зернометатели струйного типа, со сплошной струей на выходе, которые имеют существенный недостаток – повреждение зерна при обработке [3, 4]. Анализ и исследование работ в этом направлении показали, что оптимальными с точки зрения эффективности и качества работы являются порционные (барабанные) метатели зерна, у которых метание на выходе осуществляется в виде отдельных порций [5, 6].

**Целью** исследований является совершенствование конструкции рабочего органа ленточного зернометателя, обеспечивающего снижение повреждения зерновых, на основе анализа конструкции и технологического процесса и

определения некоторых параметров, влияющих на эффективность его работы.

## Объекты и методы

Анализ и синтез современных конструкций метателей зерна, широкий обзор научно-технической литературы, патентный поиск позволили остановиться на одной из конструкций ленточных зернометателей (с полым прижимным барабаном) (рис. 1), на основе которого разработаны два технических решения [7], направленные на повышение эффективности и снижение травмирования зерновых.

## Результаты исследований

Одним из показателей эффективности работы зернометателей является производительность машины, которая зависит от геометрических и кинематических параметров. Кинематическим параметром является скорость метания зерновых на выходе. Чем больше скорость метания, тем выше производительность. Рабочий процесс ленточных зернометателей (со сплошным прижимным барабаном) осуществляется на скоростях не более 14-15 м/с для фуражного зерна и не более 10 м/с для семенного зерна [3]. Увеличение указанного диапазона скоростей приводит к значительному увеличению травмирования обрабатываемого зерна [4, 8-10], т.е. снижению другого показателя эффективности работы зернометателя – качества обрабатываемого зерна. Причиной повреждения зерна является контактное взаимодействие зерна с рабочим органом. При использовании полого прижимного барабана (рис. 1), контактное взаимодействие снижается и, соответственно, повреждаемость зерна тоже.

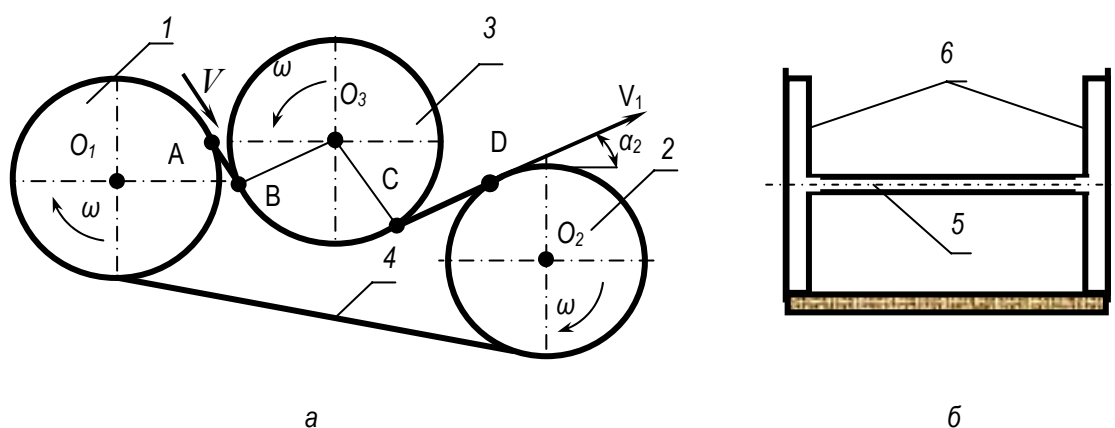


Рис. 1. Схема ленточного зернометателя с полым прижимным барабаном:

*а* – вид сбоку метателя, *б* – разрез прижимного барабана; 1 – ведущий барабан, 2 – ведомый барабан, 3 – прижимной барабан, 4 – бесконечная лента, 5 – вал, 6 – опорные катки

Необходимо также отметить, что существуют и косвенные показатели эффективности рабочего процесса зернометательных машин. К ним можно отнести: снижение поверхностной влажности зерна и выделение примесей и включений из состава зернового вороха (при обработке на открытых площадках) [11]. Технологически это достигается в процессе метания в виде струи сплошного или порционного метания [5]. При метании сплошной струей возникает сопутствующий воздушный поток, при котором затрудняется выделение примесей и компонентов из зернового вороха. Доказано, что наиболее эффективным является порционное метание [5].

Проведем анализ рабочего процесса ленточного зернометателя с полым прижимным барабаном. Конструкция метателя (рис. 1) включает: ведущий 1 и ведомые 2 барабаны, огибаемые бесконечной лентой 4, и прижимной полый барабан 3.

В состав полого прижимного барабана 3 (рис. 1б) входит вал 5 и два катка (диска) 6, отжимающие верхнюю ветвь ленты так, что на участке *BC* ветвь ленты деформируется по дуге окружности, радиус которой равен радиусу катков 6 барабана 3. Прижимной барабан устанавливается в опоры (2 подшипника) с возможностью регулировки в радиальном направлении, для изменения углов метания.

Зерно (зерновой материал) на ленту подается с начальной скоростью  $V_0$  (в точке *A*) и на участке *AB* перемещается прямолинейно. На

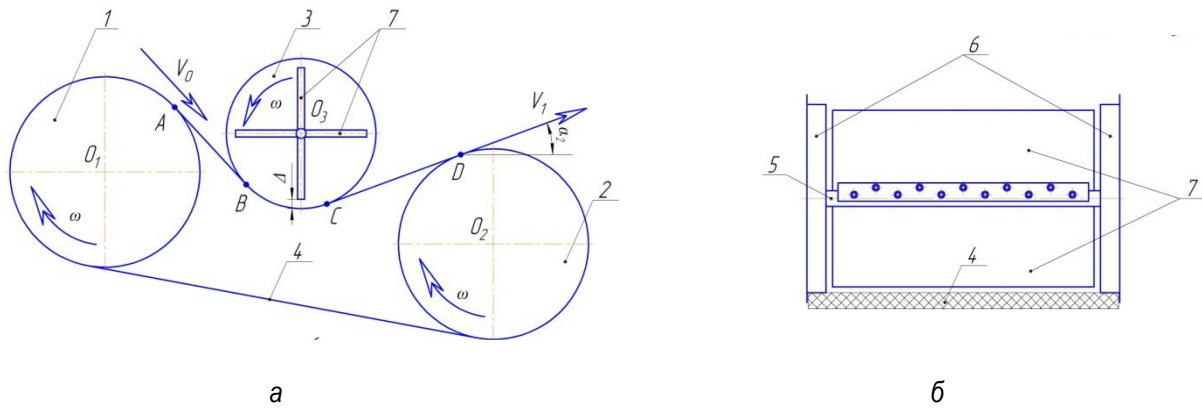
криволинейном участке *BC*, определяемом углом  $\alpha = \alpha_1 + \alpha_2$ , за счет центробежной силы и силы тяжести, зерновой материал прижимается к ленте, вследствие чего увеличивается сила сцепления материала с лентой. Далее, при перемещении на прямолинейном участке *CD*, зерно выбрасывается лентой в точке *D* под углом  $\alpha_2$  к горизонту.

В результате лабораторных исследований установлено, что технологический процесс работы зернометателя имеет ряд недостатков: ограниченную производительность, боковой сход зерна с поверхности ленты и неравномерную скорость метания по толщине выбрасываемой струи.

Устранение отмеченных недостатков реализуется в техническом решении [7] путем постановки на оси 5 прижимного барабана 3, лопаток 7 из упругого материала (рис. 2). Необходимым условием является наличие зазора  $\Delta$  между торцами лопаток и поверхностью бесконечной ленты 4, не превышающие толщины одного слоя (единичной зерновки) зерна (рис. 2а).

Постановка лопаток в прижимном барабане позволяет также исключить проскальзывание слоев зернового материала относительно друг друга при движении с лентой.

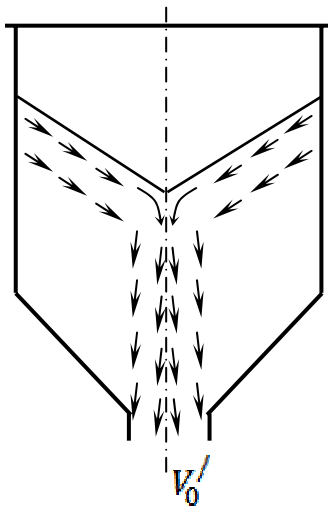
Технологический процесс работы усовершенствованного метателя зерна разделяется на три фазы: подача зерна на ленту, перемещение зерна вместе с лентой и движение порционной струи зерна в воздушной среде.



**Рис. 2. Схема усовершенствованного ленточного зернометателя с лопастным барабаном:**  
**а – вид сбоку метателя, б – разрез прижимного барабана; 1 – ведущий барабан, 2 – ведомый барабан,**  
**3 - прижимной барабан, 4 – бесконечная лента, 5 – вал, 6 – опорные катки, 7 – лопатки**

Подача зернового материала на ленту характеризуется следующими параметрами: производительностью питателя, формой потока зернового материала, скоростями истечения и поступления зерна на ленту, направлением вектора скорости зернового материала, поступающего на ленту.

Для стабильного и бесперебойного истечения сыпучего материала приняты симметричную форму бункера в соответствии с известными рекомендациями [12] (рис. 3).



**Рис. 3. Бункер загрузочный**

Для хорошо сыпучих материалов (сухой зерновой материал) скорость  $V_0'$  истечения материала из отверстия [12] определится по формуле:

$$V_0' = \lambda \sqrt{3,2gR}, \quad (1)$$

где  $\lambda$  – коэффициент истечения;

$g$  – ускорение свободного падения;

$R$  – гидравлический радиус отверстия.

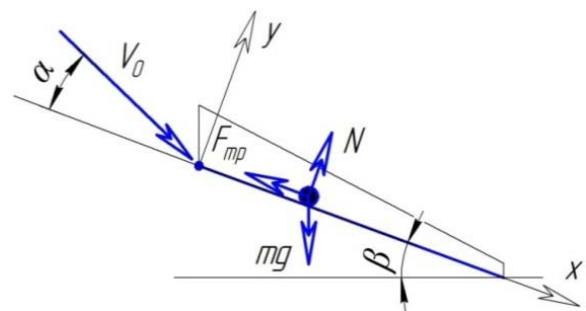
Объёмная производительность дозатора, с учетом размеров прямоугольного отверстия со сторонами  $a_1$  и  $a_2$ , равна:

$$Q = V_0' \cdot a_1 \cdot a_2 = a_1 \cdot a_2 \cdot \lambda \sqrt{3,2gR}. \quad (2)$$

Скорость зерна  $V_0$  в момент поступления на загрузочный лоток без учета сил аэродинамического сопротивления будет равна:

$$V_0 = \sqrt{V_0'^2 + 2gy}. \quad (3)$$

Из выражения (3) следует, что если высота падения  $y$  равна нулю, то зерно поступает на загрузочный лоток со скоростью истечения под углом  $\alpha$  к поверхности лотка (рис. 4).



**Рис. 4. К анализу движения зерна по поверхности загрузочного лотка**

Дифференциальное уравнение движения зерна в проекции на ось  $x$  имеет вид:

$$m \frac{dV_x}{dt} = m \cdot V_x \frac{dV_x}{dx} = mg \cdot \sin \beta - mg \cdot f \cos \beta, \quad (4)$$

где  $mg f \cos \beta = Nf = F_{тр}$  – сила трения.

С учетом начальных условий ( $V_x=V_0 \cos \alpha$  при  $x=0$ ) из решения дифференциального уравнения (4) определится скорость движения зерна по поверхности загрузочного лотка:

$$V_x = \sqrt{\frac{g(\sin \beta - f \cos \beta)x + (V_0 \cos \alpha)^2}{2}}, \quad (5)$$

где  $g$  – ускорение свободного падения;

$\alpha$  – угол истечения из бункера;

$\beta$  – угол наклона лотка;

$V_0$  – скорость истечения.

В момент схода зерна с поверхности загрузочного лотка (при  $x=l_n$ )

$$V_x = \sqrt{\frac{g(\sin \beta - f \cos \beta) \cdot l_n + (V_0 \cos \alpha)^2}{2}}. \quad (6)$$

Из уравнения (6) следует, что если  $(\sin \beta - f \cos \beta) = 0$ , то есть если  $\beta = \arctg f$ , то скорость схода зерна с поверхности загрузочного лотка не зависит от его длины.

Для устранения потери скорости при подаче зернового материала загрузочный лоток необходимо устанавливать под углом, равным углу наклона бесконечной ленты.

### Выводы

На основании анализа технологического процесса работы ленточного зернометателя с полым прижимным барабаном разработано техническое решение – ленточный зернометатель с прижимным лопастным барабаном. Предложенное техническое решение позволяет исключить проскальзывание слоев зернового материала относительно друг друга при движении с лентой, повысить равномерность скорости струи зернового материала при метании, уменьшить повреждаемость зерна при обработке за счет снижения контактного взаимодействия с зерном. Рассмотрен технологический процесс работы усовершенствованного метателя зерна, который разделили на три фазы: подача зерна на ленту, перемещение зерна вместе с лентой и движение порционной струи зерна в воздушной среде. Проведен анализ первой фазы технологического процесса и определены параметры: производительность питателя, форма потока частиц, зависимость скорости истечения и поступления зерна на ленту, направление вектора скорости

зерна. Обоснована постановка лотка при подаче зернового материала на ленту и факторы, влияющие на скорость подачи зерна на бесконечную ленту.

### Библиографический список

1. Волхонов, М. С. Аварийные режимы работы машин и оборудования послеуборочной обработки зерна: разработка системы контроля на базе нейронной сети / М. С. Волхонов, М. Чуперка. – Текст: непосредственный // Научное обозрение. Педагогические науки. – 2019. – № 2-4. – С. 36-41.
2. Pearson R. (1997). Grain and bare seed cleaning in Denmark. *Milling Feed and Fertilizer*. 6 (2): 22-23.
3. Асатурян, А. В. Анализ рабочих органов зернометательных машин / А. В. Асатурян. – Текст: непосредственный // Вестник АПК Ставрополя. – 2015. – № 4 (20). – С. 12-17.
4. Горбачев, И. В. Травмируемость зерна как показатель качества работы зернометателя / И. В. Горбачев, С. Н. Шуханов. – Текст: непосредственный // Аграрная наука. – 2012. – № 1. – С. 30.
5. Шуханов, С. Н. Послеуборочная обработка зернового вороха с использованием метателя зерна барабанного типа / С. Н. Шуханов, А. Л. Токмакова. – Текст: непосредственный // Вестник ИрГСХА. – 2015. – № 66. – С. 123-128.
6. Шуханов, С. Н. Обзор конструкций зернометательных машин / С. Н. Шуханов, А. Л. Токмакова. – Текст: непосредственный // Вестник ИрГСХА. – 2013. – № 59. – С. 111-115.
7. Патент № 2546755 РФ, МПК7 В65G31/02 В65G31/04. Метатель сыпучих материалов / Асатурян А. В., Бутенко А. Ф. (RU). – 2013157136/11; заявл. 23.12.2013; опубл. 10.04.2015, Бюл. № 10 // Изобретения. Полезные модели. – 2015. – № 10. – Текст: непосредственный.
8. Мерчалова, М. Э. Изменение уровня травмирования зерна при послеуборочной обработке / М. Э. Мерчалова. – Текст: непосредственный // Современные тенденции развития технологий и технических средств АПК: сборник трудов конференции / Воронежский государ-



ственный аграрный университет имени Императора Петра I. – Воронеж, 2014. – С. 104-106.

9. Бутенко, А. Ф. Анализ травмирования семян зерновых культур А. Ф. Бутенко, В. А. Максименко. – Текст: непосредственный // Исследование и разработка эффективных технологий и технических средств для животноводства: сборник научных трудов / ответственный редактор Э. И. Липкович; Российская академия сельскохозяйственных наук, Всероссийский научно-исследовательский и проектно-технологический институт механизации и электрификации сельского хозяйства (ВНИПТИМЭСХ). – Зеленоград, 2004. – С. 75-83.

10. Забродин, В. П. Исследование ударного воздействия механического устройства на семена озимой пшеницы / В. П. Забродин, А. Ф. Бутенко, М. В. Суханова, С. М. Чепцов. – Текст: непосредственный // Сельскохозяйственные машины и технологии. – 2018. – Т. 12, № 2. – С. 14-18.

11. Бутенко, А. Ф. Результаты экспериментальных исследований комбинированного ленточного метателя зерна / А. Ф. Бутенко, А. В. Асатурян, С. М. Чепцов. – Текст: непосредственный // Научное обозрение. – 2016. – № 10. – С. 79-83.

12. Гячев, Л. В. Основы теории бункеров / Л. В. Гячев. – Новосибирск: Изд-во Новосибирского ун-та, 1992. – 300 с. – Текст: непосредственный.

### References

1. Volkhonov M.S., Chuperka M. Avariynye rezhimy raboty mashin i oborudovaniya posleuborochnoy obrabotki zerna: razrabotka sistemy kontrolya na baze neyronnoy seti // Nauchnoe obozrenie. Pedagogicheskie nauki. – 2019. – No. 2-4. – S. 36-41.

2. Pearson R. (1997). Grain and bare seed cleaning in Denmark. *Milling Feed and Fertilizer*. 6 (2): 22-23.

3. Asaturyan A.V. Analiz rabochikh organov zernometatelykh mashin // Vestnik APK Stavropolya. – 2015. – No. 4 (20). – S. 12-17.

4. Gorbachev I.V., Shukhanov S.N. Travmirovannost zerna kak pokazatel kachestva raboty

zernometatelya // Agrarnaya nauka. – 2012. – No. 1. – S. 30.

5. Shukhanov S.N., Tokmakova A.L. Posleuborochnaya obrabotka zernovogo vorokha s ispolzovaniem metatelya zerna barabannogo tipa // Vestnik IrGSKhA. – 2015. – No. 66. – S. 123-128.

6. Shukhanov, S.N. Obzor konstruktivnykh zernometatelykh mashin / S.N. Shukhanov, A.L. Tokmakova // Vestnik IrGSKhA. – 2013. – No. 59. – S. 111-115.

7. Pat. No. 2546755 RF, MPK7 B65G31/02 B65G31/04 Metatel sypuchikh materialov / A.V. Asaturyan, A.F. Butenko (RU). – 2013157136/11, Zayavl. 23.12.2013; Opubl. 10.04.2015, Byul. No. 10 // Izobreteniya. Poleznye modeli. – 2015. – No. 10.

8. Merchalova, M.E. Izmenenie urovnya travmirovaniya zerna pri posleuborochnoy obrabotke // Sovremennye tendentsii razvitiya tekhnologiy i tekhnicheskikh sredstv APK – sbornik trudov konferentsii. Voronezhskiy gosudarstvennyy agrarnyy universitet im. Imperatora Petra I. Voronezh. – 2014. – S. 104-106.

9. Butenko A.F., Maksimenko V.A. Analiz travmirovaniya semyan zernovykh kultur // Issledovanie i razrabotka effektivnykh tekhnologiy i tekhnicheskikh sredstv dlya zhivotnovodstva Sbornik nauchnykh trudov. Rossiyskaya akademiya selskokhozyaystvennykh nauk; Vserossiyskiy nauchno-issledovatel'skiy i proektno-tekhnologicheskii institut mekhanizatsii i elektrifikatsii selskogo khozyaystva (VNIPTIMESKh); Lipkovich E.I. – otv. red. – Zelenograd, 2004. – S. 75-83.

10. Zabrodin V.P., Butenko A.F., Sukhanova M.V., Cheptsov S.M. Issledovanie udarnogo vozdeystviya mekhanicheskogo ustroystva na semena ozimoy pshenitsy // Selskokhozyaystvennyye mashiny i tekhnologii. – 2018. – T. 12. – No. 2. – S. 14-18.

11. Butenko A.F., Asaturyan A.V., Cheptsov S.M. Rezultaty eksperimentalnykh issledovaniy kombinirovannogo lentochnogo metatelya zerna Nauchnoe obozrenie. – 2016. – No. 10. – S. 79-83.

12. Gyachev, L.V. Osnovy teorii bunkerov / L.V. Gyachev. – Novosibirsk: Izdatel'stvo Novosibirskogo universiteta, 1992. – 300 s.

