

Научная статья

УДК 631.362

doi: 10.34655/bgsha. 2024.74.1.017

## **ОБОСНОВАНИЕ КИНЕМАТИЧЕСКИХ ПАРАМЕТРОВ СЕПАРИРУЮЩЕЙ ЗЕРНОМЕТАЮЩЕЙ МАШИНЫ**

**Ж.Б. Цыбенков<sup>1</sup>, С.С. Ямпиров<sup>2</sup>, С.Ж. Гылыкова<sup>3</sup>, С.Н. Шуханов<sup>4</sup>, А.В. Кузьмин<sup>5</sup>**

<sup>1-3</sup> Восточно-Сибирский государственный университет технологий и управления, Улан-Удэ, Республика Бурятия, Россия

<sup>4-5</sup> Иркутский государственный аграрный университет им. А.А. Ежевского, Иркутск, Россия

<sup>1</sup>tsibenov@mail.ru

<sup>2</sup>yampilovss@mail.ru

<sup>3</sup>gylykova95@bk.ru

<sup>4</sup>Shuhanov56@mail.ru

<sup>5</sup>kuzmin\_burgsha@mail.ru

**Аннотация.** В настоящее время Российская Федерация является крупным производителем и лидером по экспорту зерна. Послеуборочная обработка зернового материала является основным и завершающим этапом зернового производства в хозяйствах, содержащая операции по его сушке и очистке. При оптимальных условиях производить обработку зернового материала способны зернометательные машины. Однако существующие зернометатели имеют многочисленные недостатки, которые не позволяют их использовать. Следовательно, устранение выявленных недостатков и обоснование кинематических параметров сепарирующей зернометающей машины является актуальной задачей. Предлагаемая сепарирующая зернометающая машина способна обеспечить эффективную и малозатратную послеуборочную обработку зернового материала, довести до базисных кондиций зерновой материал, что позволит обеспечить его долгое хранение и качество. Разработаны аналитические зависимости перемещения частиц зернового материала в барабане и выпускном патрубке сепарирующей зернометающей машины. Экспериментальные исследования подтвердили адекватность математических моделей и теоретические исследования. Математические модели позволили установить основные геометрические размеры и кинематические параметры устройства: при угле наклона закругленных участков лопастей барабана 45 градусов и скорости вылета зерна 16 метров в секунду с пропускной способностью 15 т/ч максимальное распределение частиц наблюдается на расстоянии 8...9 метров от зернометателя, а ширина зоны приземления зернового материала на полигон составила 4 метра.

**Ключевые слова:** зерно, послеуборочная обработка, зернометатель, кинематические параметры, очистка, сушка.

Original article

## JUSTIFICATION KINEMATIC PARAMETERS OF THE SEPARATING GRAIN THROWING MACHINE

Zhargal B. Tsybenov<sup>1</sup>, Senge S. Yampilov<sup>2</sup>, Selmeg Zh. Gylykova<sup>3</sup>,  
Stanislav N. Shukhanov<sup>4</sup>, Alexander V. Kuzmin<sup>5</sup>

<sup>1-3</sup>East Siberian State University of Technology and Management, Ulan-Ude, Republic of Buryatia, Russia

<sup>4-5</sup>Irkutsk State Agrarian University named after A.A. Ezhevsky, Irkutsk, Russia

<sup>1</sup>tsibenov@mail.ru

<sup>2</sup>yampilovss@mail.ru

<sup>3</sup>gylykova95@bk.ru

<sup>4</sup>Shuhanov56@mail.ru

<sup>5</sup>kuzmin\_burgsha@mail.ru

**Abstract.** Currently, the Russian Federation is a major producer and leader in grain exports. Post-harvest processing of grain material is the main and final stage of grain production in farms, containing operations for its drying and cleaning. Under optimal conditions, grain-throwing machines are capable of processing grain material. However, existing grain sweepers have numerous disadvantages that do not allow them to be used. Therefore, the elimination of the identified shortcomings and the substantiation of the mathematical parameters of the separating grain-sweeping machine is an urgent task. The proposed separating grain-sweeping machine is capable of providing efficient and low-cost post-harvest processing of grain material, bringing grain material to basic conditions, which will ensure its long storage and quality. Analytical dependences of the movement of grain material particles in the drum and outlet pipe of the separating grain-sweeping machine have been developed. Experimental studies have confirmed the adequacy of mathematical models and theoretical studies. Mathematical models allowed us to establish the basic geometric dimensions and kinematic parameters of the device: at an angle of inclination of the rounded sections of the drum blades of 45 degrees and a grain departure speed of 16 meters per second with a throughput of 15 t/h, the maximum particle distribution is observed at a distance of 8 ... 9 meters from the grain thrower, and the width of the landing zone of grain material on the landfill was 4 meters.

**Keywords:** grain, post-harvest processing, grain sweeper, kinematic parameters, cleaning, drying.

**Введение.** Зерновое производство является ведущей отраслью сельского хозяйства. Пищевая промышленность из зерна выпускает макаронные, кондитерские и хлебобулочные изделия [1]. Кроме того, от ее состояния во многом зависят животноводство и птицеводство. В настоящее время Российская Федерация является крупным производителем и лидером по экспорту зерна. Страна с избытком обеспечивает потребности населения в зерне и продовольственную безопасность [2].

Решающая роль в наращивании производства зерна принадлежит совершенствованию отечественных технологий пос-

леуборочной обработки зерна, улучшении существующих зернообрабатывающих устройств и машин [3, 4]. Данные мероприятия по повышению эффективности и производительности послеуборочной обработки зерна исчерпали себя. Сказывается физический износ узлов и элементов существующих зернообрабатывающих устройств и машин [5]. Количество приобретенного нового оборудования зернопроизводящими хозяйствами недостаточно из-за их высоких цен.

Послеуборочная обработка зернового материала, содержащая операции по его сушке и очистке, является основным и завершающим этапом его производства

в хозяйствах. Очистка зернового материала заключается в отделении основного полноценного зерна от зерновой и сорной примеси. Примеси уменьшают качество зерна и обладают высокой влажностью, что способствует размножению микроорганизмов, снижающих класс и сохранность зерна. Сушка зерна до базисных кондиций является завершающей операцией в послеуборочной обработке и позволяет обеспечить длительность хранения и качество зерна [6-8].

Анализ технологий послеуборочной обработки зерна показал, что наиболее многочисленными операциями являются перемещение, перелопачивание и погрузка зерна, осуществляемые зернометательными машинами. Кроме того, зернометательные машины применяют для предварительной очистки, сушки и охлаждения зерна. Сушка зерна осуществляется путем многократной перебуртовки зернометательными машинами на открытых площадках зернотоков. Исследования показали, что влажность зернового материала снижается на 3...5% и температура на 10...15°C при однократном метании [9-11].

Научные разработки в области метания зерна и совершенствования конструкций машин проводились многими известными учеными и ведутся по настоящее время. Большой и продолжительный интерес к данным исследованиям связан с явными достоинствами данных машин, которые снижают финансовые расходы на послеуборочную обработку, повышают товарные и посевные качества зерна при малых затратах [10,11].

При оптимальных условиях эффективность очистки от примесей зернометателем может составить 99,5% [9]. Однако применяемые в послеуборочной обработке зерна метатели ЗМ-30, ЗМ-60 и зернопогрузчики ЗПС-60, ЗПС-100 не могут осуществлять разделение и очистку зернового материала, поскольку метание зерновой массы производится сплошным потоком, в котором частицы оказывают влияние друг на друга и их

разделение по аэродинамическим свойствам малоэффективно [10,11]. Кроме того, в силу конструктивных особенностей всех известных типов зернометателей частицы зернового вороха приобретают различные первоначальные скорости при метании. В итоге схожие частицы с одинаковыми аэродинамическими свойствами отлетают на разные расстояния и осуществить разделение не представляется возможным. Поэтому в настоящее время зернометатели, в основном, выполняют простые операции: перемещение, перелопачивание и погрузка зерна [12].

Анализ результатов проведенных нами исследований, конструкций существующих зернометательных машин и экспериментальных данных по обработке зернового вороха сепарирующей зернометательной машиной [13,14] показал, что:

- эффективную и малозатратную послеуборочную обработку зернового материала осуществимо произвести на одной многофункциональной зернометательной машине;

- послеуборочная обработка и доведение до базисных кондиций зернового материала сепарирующей зернометающей машиной позволит обеспечить его долгое хранение и качество зерна.

В связи с описанным выше, обоснование кинематических параметров и основных геометрических характеристик сепарирующей зернометающей машины, способной осуществлять весь комплекс работ по послеуборочной обработке зерна, является актуальной задачей.

**Условия, объекты и методы исследований.** Объект исследования – сепарирующая зернометательная машина (СЗМ). Методы исследования основываются на анализе теоретических и аналитических исследований процессов обработки зернового материала зернометательными машинами. Для обоснования кинематических параметров СЗМ применили математические методы моделирования и статистические

методы исследования.

Для осуществления экспериментальных исследований СЗМ был создан зерноулавливающий полигон. Длина полигона – 13 метров, ширина – 8 метров. Зерновой материал – пшеница сорта Бурятская 79 с влажностью 14%. Условия исследований были следующими: производительность – 15 т/ч, скорость метания – от 8 до 16 м/с, угол метания – 45 градусов. При подаче 15 т/ч и различных скоростях вылета зерна из выпускного патрубка СЗМ производилось метание зерна на полигон. Затем производился замер распределения зерна в каждой ячейке полигона.

**Результаты исследований и их обсуждения.** Послеуборочная обработка зернового вороха – это необходимый энерготрудоемкий этап, содержащий его приемку, очистку от примесей, сушку, охлаждение при необходимости и сортирование. Объединение всех технологических операций в одной многофункциональной машине является актуальной задачей.

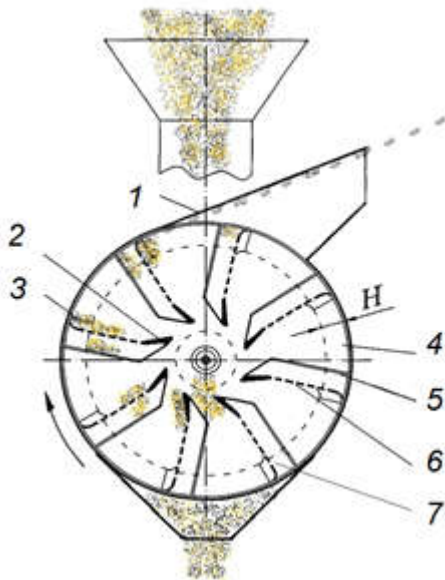


Рисунок 1. Конструкция СЗМ:  
1 – патрубок выпускной; 2 – часть приемной лопасти; 3 – часть лопасти закругленная; 4 – обод конусный; 5 – доска скатная; 6 – сепарирующее устройство; 7 – прорезь

Разработанная нами сепарирующая зернометающая машина [15] способна производить сушку, охлаждение, перелопачивание, перемещение и очистку зернового вороха за одну технологическую операцию.

Конструкция СЗМ (рис. 1) позволяет уменьшить травмирование зерна и повысить эффективность обработки зернового вороха.

Отличительной особенностью СЗМ от существующих зернометателей является установка закругленной части лопасти 3, конусного обода 4 и приемной части 2 для снижения травмирования зернового материала, а также сепарирующего устройства 6, скатной доски 5 и прорези 7 для очистки зерна от примесей. Обработанный зерновой материал выбрасывается через выпускной патрубок 1.

Аналитическая часть включает в себя систему уравнений (1), которые теоретически описывают движение частицы на закругленном участке лопасти СЗМ (рис. 2).

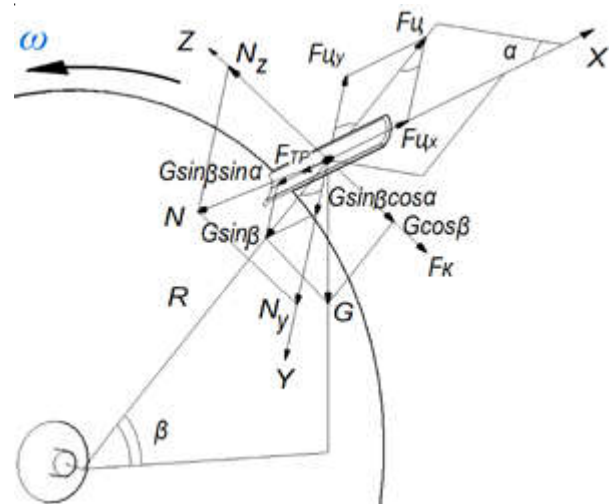


Рисунок 2. Движение частицы на закругленном участке лопасти

$$\begin{cases} m \frac{d^2 S}{dt^2} = F_{ц} \sin \alpha - F_{тр} - G \sin \beta \sin \alpha; \\ N_y = F_{ц} \cos \alpha - G \sin \beta \sin \alpha; \\ F_{ц} = mS\omega^2; \\ F_k = 2m\omega \frac{dS}{dt}, \end{cases} \quad (1)$$

где  $F_{тр} = fN$  – сила трения, Н;  
 $f$  – коэффициент трения частицы;  
 $\beta$  – угла наклона закругленного участка, град;

$F_k$  – сила центробежная, Н;

$m$  – масса частицы, кг;

$\omega$  – угловая скорость, рад/с;

$N_y$  – сила реакции опоры, Н;

$G = mg$  сила гравитационная, Н;

$F_u$  – сила центробежная, Н;

$S$  – расстояние, м.

Первые два уравнения связывают скорость и силу реакции опоры в гравитационном и центробежном поле.

Для нахождения искомым величин к уравнениям добавляются уравнения на-

хождения центробежной силы и силы Кориолиса.

При решении системы уравнений (1) и математических преобразований найдено уравнение скорости движения частицы на периферии лопасти барабана (2).

$$\frac{dS}{dt} = \frac{g \cos \beta \cos \alpha + g \cos^2 \alpha \sin \beta - \omega^2 g \cos \beta \sin \alpha - 2\omega^2 g \cos \alpha \sin \beta \cdot \sin \alpha + \omega^2 f g \cos \alpha \sin \beta \sin \alpha}{2\omega^3 f \sin^2 \alpha - 2\omega f \cos \alpha \sin \alpha} \quad (2)$$

Данное уравнение (2) позволило найти осевую скорость перемещения частицы в барабане (3).

Анализ показал, что траектории движения частиц пересекаются. Однако частицы не сталкиваются, поскольку вылетают из барабана поочередно с одинаковой угловой скоростью  $V_y$ .

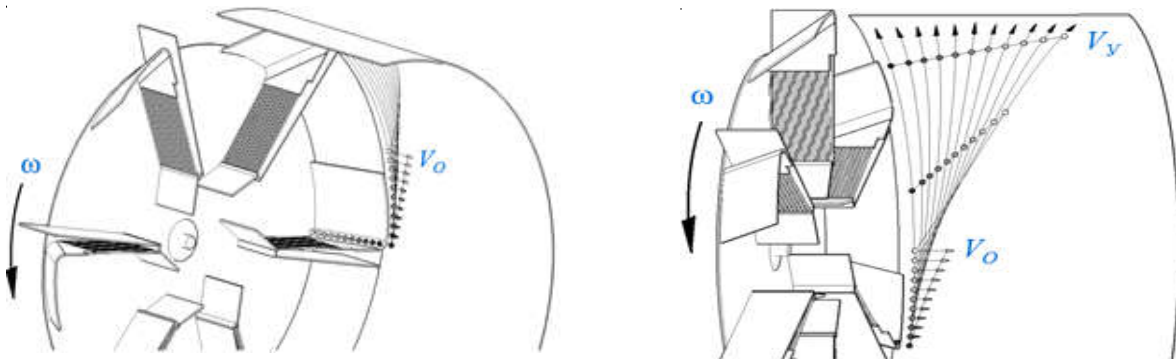


Рисунок 3. Траектории движения частиц в цилиндрическом патрубке

Важно заметить, что частицы вылетают друг за другом с нарастающей осевой скоростью  $V_o$ . Данный эффект позволяет перемещаться частицам в цилиндрическом патрубке и осуществлять выброс

частиц из устройства в один элементарный слой.

Причем выбрасываются элементарные слои друг за другом с расширяющимся фронтом движения (рис. 4).

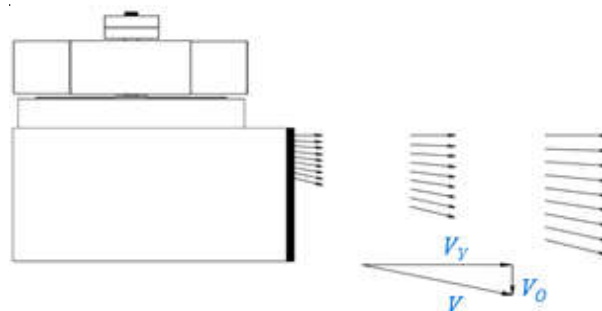


Рисунок 4. Траектории движения частиц в воздушной среде

Благодаря данному явлению частицы не сталкиваются друг с другом и не взаимодействуют в полете. Значительно слабеет попутный воздушный поток, увеличивается объем рабочей среды. То есть, воздушной среды, где зерновой материал разделяется на фракции, очищается и сушится. Повышаются сепарационные и тепловлагообменные процессы.

Для определения оптимального угла наклона  $\beta$  (рис. 2) закругленного участка лопасти 3 (рис. 1), от которого зависит ширина падения зерна и ширина испытательного полигона, нами проведены аналитические и экспериментальные исследования.

По формулам (2, 3) рассчитали скорость вылета зерна  $V$ , провели полный факторный эксперимент и построили зависимость ширины участка падения зерна  $H$  от угла наклона закругленного участка  $\beta$  и скорости вылета зернового материала  $V$  (рис. 5).

На основе данных экспериментальных исследований, применив методы математического моделирования и математической статистики, нами получено уравнение регрессии второго порядка:

$$H = 1.92 - 0.118\alpha + 0.021V + 0.0019\alpha^2 - 0.0065\alpha V + 0.004V^2 \quad (4)$$

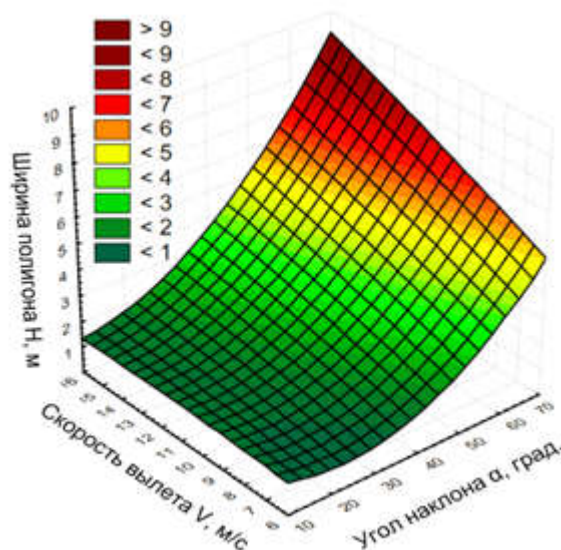


Рисунок 5. Зависимость ширины полигона  $H$  от угла наклона закругленного участка  $\beta$  и скорости вылета зернового материала  $V$

Для определения основных параметров зернометающей машины провели экспериментальные исследования. Производили метание зерна в воздушную среду сепарирующей зернометающей маши-

ной при разных скоростях вылета зерна из выпускного патрубка от 8 до 16 м/с. Найдены распределения частиц по длине метания при разных скоростях вылета зерна (рис. 6).

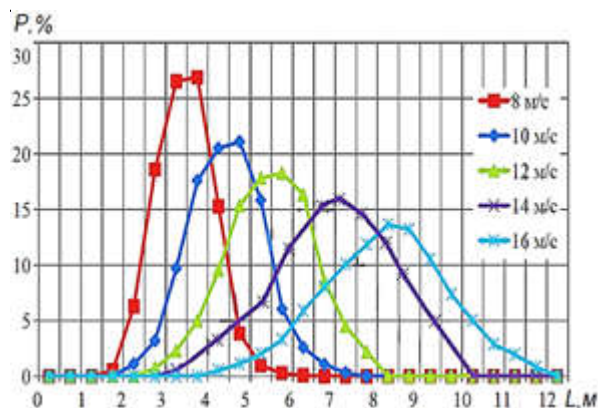


Рисунок 6. Распределения частиц  $P$  по длине метания  $L$  при разных скоростях вылета зерна

Исследования показали, что при скорости вылета зерна из выпускного патрубка 8 м/с максимальное распределение частиц  $P$  наблюдается на расстоянии 3...4 метров от зернометателя, при скорости 10 м/с – на расстоянии 4...5 метров, при скорости 12 м/с – на расстоянии 5...6 метров, при скорости 14 м/с – на расстоянии 7 метров, при скорости 16 м/с на расстоянии 8–9 метров. Распределение частиц при всех скоростях метания зерна принимает нормальный вид распределения. Исследования показали, что ширина распределения частиц на полигоне при метании со скоростью вылета 16 м/с и установки угла наклона  $\beta$  закругленного участка в 45 градусов составила 4 метра.

**Выводы:** 1. Обоснована конструктивная схема СЗМ с применением на-

клонных закругленных участков на периферии лопастей барабана.

2. Выведены аналитические зависимости перемещения частиц зернового материала в барабане и выпускном патрубке СЗМ.

3. Определены основные геометрические размеры и кинематические параметры предлагаемой СЗМ: максимальное распределение частиц наблюдается на расстоянии 8–9 метров от зернометателя, а ширина зоны приземления зернового материала на полигон составила 4 метра при угле наклона закругленных участков лопастей барабана 45 градусов и скорости вылета зерна 16 метров в секунду с пропускной способностью 15 т/ч.

#### **Список источников**

1. Зюкин Д.А., Беляев С.А. Роль зернового хозяйства в сельскохозяйственном производстве и экспорте агропродовольствия // Вестник Курской государственной сельскохозяйственной академии. 2023. № 4. С. 114-119. EDN: ZZZGVL.
2. Сёмин А.Н., Килимник Е.В. Продовольственная безопасность России и ее влияние на международную торговлю сельхозпродукцией // Электронное сетевое издание «Международный правовой курьер». 2022. № 4. С. 61-70. EDN: RCOEGA.
3. Смолянинов Ю.Н. Состояние и пути совершенствования механизации послеуборочной обработки зерна в Дальневосточном регионе // Вестник ВИЭСХ. 2017. № 4 (29). С. 102-105. EDN: YOWNVM.
4. Тарасенко А.П., Чернышов А.В., Баскаков И.В., Гиевский В.А. Пути совершенствования технологической линии зерноочистительного агрегата // Наука и образование на современном этапе развития: опыт, проблемы и пути их решения: материалы международной научно-практической конференции. 2018. С. 415-420. EDN: YSMSZV.
5. Анашкин А.В., Тишанинов К.Н. Морфологический анализ устройств для управления массовыми потоками зерна // Наука в центральной России. 2019. № 1(37). С. 11-19. EDN: YXSARF.
6. Рябухина Е.В., Нуждина М.В. Значение послеуборочной обработки зерна // Азимут научных исследований: экономика и управление. 2015. № 1(10). С. 112-113. EDN: TQIKHT.
7. Абидуев А.А. Повышение эффективности очистки семян пшеницы. Улан-Удэ, 2022. 187 с. EDN: RKVJZP.
8. Горбачев И.В., Панова Т.В., Панов М.В. Моделирование и оптимизация процесса послеуборочной обработки зерна. Инновации в сельском хозяйстве. 2018. № 3 (28). С. 279-287. EDN: YLSZPF.
9. Шуханов С.Н. Совершенствование рабочего процесса зернометателей и зернопогрузчиков: специальность 05.20.01 «Технологии и средства механизации сельского хозяйства»: дис.... докт. техн. наук. Москва, 2012. 197 с. EDN: QFODBZ.
10. Абидуев А.А. Повышение эффективности технологических процессов фракционной очистки зерна и семян: специальность 05.20.01 «Технологии и средства механизации сельского хозяйства»: дис... докт. техн. наук. Улан-Удэ, 2018. 382 с. EDN: JXFOKP.
11. Урханов Н.А., Мантуров Л.А., Абидуев А.А. Обоснование параметров повышения эффективности работы зернометателя с приемно-питающим устройством // Вестник ВСГУТУ. 2016. № 5 (62). С. 78-82. EDN: XCLFTT.
12. Добровольский М.С., Онищенко Е.А., Юдаев Е.С., Бутенко А.Ф. К совершенствованию конструкций метательных машин в послеуборочной обработке зерна // Научное обеспечение агропромышленного комплекса молодыми учеными: Всероссийская научно-практическая конференция, посвященная 85-летию юбилею Ставропольского государственного аграрного университета. 2015. С. 181-186. EDN: USTFJD.

13. Yampilov S.S., Tsybenov Zh.B., Gylykova S.Zh., Baldanov V.B., Moshkin N.I. Grain separating and throwing machine in inline grain processing // IOP Conference Series: Earth and Environmental Science. 2022. T. 1112. № 1. С. 012071. EDN: WRZEIB. doi: 10.1088/1755-1315/1112/1/012071.
14. Yampilov S.S., Tsybenov Zh.B., Gylykova S.Zh., Onkhonova L.O., Moshkin N.I. Separating grain thrower for processing grain material // IOP Conference Series: Earth and Environmental Science. Krasnoyarsk Science and Technology City Hall of the Russian Union of Scientific and Engineering. Krasnoyarsk, 2021. P. 52053. EDN: VTEZQL. doi: 10.1088/1755-1315/839/5/052053.
15. Цыбенков Ж.Б., Ямпиллов С.С., Матуев А.А., Цыбенкова Л.Г., Хандакова Г.Ж. Патент на изобретение RU 2578918 С1, 27.03.2016. Заявка № 2015100908/11 от 12.01.2015. EDN: ZEOEMH.

### References

1. Zukin D.A., Belyaev S.A. The role of grain farming in agricultural production and export of agricultural products. *Herald of the Kursk State Agricultural Academy*. 2023;4:114-119 (In Russ.)
2. Semin A.N., Kilimnik E.V. Food security of Russia and its impact on international trade in agricultural products. *International Legal Courier Electronic Network Edition*. 2022;4:67-70 (In Russ.)
3. Smolyaninov Yu.N. State and ways of improvement of mechanization of postharvest processing of grain in the Far East region. *Vestnik VIESH*. 2017;4(29):102-106 (In Russ.)
4. Tarasenko A.P., Chernyshov A.V., Baskakov I.V., Gievsky V.A. Ways to improve the technological line of the grain cleaning unit. *Science and education at the present stage of development: experience, problems and solutions. Proc. of the Int. Sci. and Pract. Conf.* 2018. Pp. 415-420 (In Russ.)
5. Anashkin A.V., Tishaninov K.N. Morphological analysis of devices for managing mass flows of grain. *Science in the central Russia*. 2019;1(37):11-19 (In Russ.)
6. Ryabukhina E.V., Nuzhdina M.V. Meaning of the after harvesting grain process. *Azimuth of scientific research: economics and administration*. 2015;1(10): 112-113 (In Russ.)
7. Abiduev A.A. *Improving the efficiency of wheat seed cleaning*. Ulan-Ude, 2022. 187 p. (In Russ.)
8. Gorbachev I.V., Panova T.V., Panov M.V. Modeling and process optimization of the post-harvest grain processing process using a small grain dryer. *Innovations in agriculture*. 2018;3(28):279-287 (In Russ.)
9. Shukhanov S.N. *Improving the workflow of grain sweepers and grain loaders*. Doktoral Dissertation. Moscow, 2012. 197 p. (In Russ.)
10. Abiduev A.A. *Improving the efficiency of technological processes of fractional purification of grain and seeds*. Doktoral Dissertation. Ulan-Ude, 2018. 382 p. (In Russ.)
11. Urkhanov N.A., Manturov L.A., Abiduev A.A. The efficiency increase parameters of grain thrower work. *Vestnik VSGUTU*. 2016;5(62):78-82 (In Russ.)
12. Dobrovolsky M.S., Onishchenko E.A., Yudaev E.S., Butenko A.F. To improve the designs of throwing machines in post-harvest grain processing. *Scientific support of the agro-industrial complex by young scientists. All-Russian scientific and practical conference dedicated to the 85th anniversary of Stavropol State Agrarian University*. 2015. Pp. 181-186 (In Russ.)
13. Yampilov S.S., Tsybenov Zh.B., Gylykova S.Zh., Baldanov V.B., Moshkin N.I. Grain separating and throwing machine in inline grain processing. *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*. 2022. Vol. 1112. No. 1; P. 012071. doi: 10.1088/1755-1315/1112/1/012071.
14. Yampilov S.S., Tsybenov Zh.B., Gylykova S.Zh., Onkhonova L.O., Moshkin N.I. Separating grain thrower for processing grain material. *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science. Krasnoyarsk Science and Technology City Hall of the Russian Union of Scientific and Engineering*. Krasnoyarsk, 2021. P. 52053. doi: 10.1088/1755-1315/839/5/052053.
15. Tsybenov Zh.B., Yampilov S.S., Matuev A.A., Tsybenova L.G., Khandakova G.Zh. *Separating thrower for granular materials*. Patent RU, no. 2578918 С1, 2016. (In Russ.)

### Сведения об авторах

**Жаргал Борисович Цыбенков** – кандидат технических наук, доцент кафедры биомедицинской техники, процессов и аппаратов пищевых производств;

**Сэнгэ Самбуевич Ямпиллов** – доктор технических наук, профессор, заведующий кафедрой биомедицинской техники, процессов и аппаратов пищевых производств;

**Сэлмэг Жаргаловна Гылыкова** – преподаватель кафедры биомедицинской техники, процессов и аппаратов пищевых производств;

**Шуханов Станислав Николаевич** – доктор технических наук, профессор кафедры технического обеспечения АПК;

**Кузьмин Александр Викторович** – доктор технических наук, профессор кафедры технического сервиса и общинженерных дисциплин.



**Information about the authors**

**Zhargal B. Tsybenov** – Candidate of Science (Engineering), Associate Professor, Chair of Biomedical Equipment, Processes and Devices of Food Production;

**Senge S. Yampilov** – Doctor of Science (Engineering), Professor, Head of Chair of Biomedical Equipment, Processes and Devices of Food Production;

**Selmeg Zh. Gylykova** – Teacher, Chair of Biomedical Equipment, Processes and Devices of Food Production;

**Stanislav N. Shukhanov** – Doctor of Science (Engineering), Professor, Chair of Agricultural Technical Support;

**Alexander V. Kuzmin** – Doctor of Science (Engineering), Professor, Chair of Technical Service and General Engineering Disciplines.

Статья поступила в редакцию 22.01.2024; одобрена после рецензирования 15.02.2024; принята к публикации 27.01.2024.

The article was submitted 22.01.2024; approved after reviewing 15.02.2024; accepted for publication 27.02.2024.