

Тип статьи: научная
УДК 631.354.2
DOI: 10.35887/2305-2538-2024-2-7-14

ВЛИЯНИЕ СОСТАВА ОЧЕСАННОГО ЗЕРНОВОГО ВОРОХА НА ЭФФЕКТИВНОСТЬ ЕГО СЕПАРАЦИИ НА РЕШЕТЧАТОЙ ПОВЕРХНОСТИ

**Виктор Николаевич Ожерельев¹, Никитин Виктор Васильевич²,
Савин Владимир Юрьевич³**

^{1,2} Брянский государственный аграрный университет, Брянск, Российская федерация
³ Калужский филиал Московского Государственного Технического Университета имени Н.Э. Баумана, Калуга, Российская федерация

¹vicoz@bk.ru, <https://orcid.org/0000-0002-2121-3481>

²viktor.nike@yandex.ru, <https://orcid.org/0000-0003-1393-2731>

³savin.study@yandex.ru, <https://orcid.org/0000-0002-2476-9768>

Автор, ответственный за переписку: Виктор Николаевич Ожерельев, vicoz@bk.ru
Corresponding author: Ozherelev Viktor, vicoz@bk.ru

Реферат. Исследовали сепарирующую способность решетчатой поверхности при работе с очесанным зерновым ворохом различного фракционного состава. Научная гипотеза исследования заключается в предположении о том, что при увеличении в ворохе массовой доли половы эффективность сепарации должна уменьшаться, из-за увеличения объема зерна при неизменной массе навески исследуемого вороха по мере уменьшения содержания зерна в связи большей объемной массой последнего по сравнению с половиной. Правомерно предположение о том, что прохождение сквозь отверстия решетчатой поверхности большего объема вороха требует большего времени, то есть скорость сепарации должна уменьшаться. Экспериментальные исследования были выполнены на очесанном зерновом ворохе пшеницы сорта Московская 56 с относительной влажностью 12 %. Массовая доля зерна в ворохе варьировалась от 100 до 60% с шагом в 10%. Экспериментальная установка была выполнена на базе колосового элеватора зерноуборочного комбайна КЗС 1218, у которой вместо демонтированной нижней стенки установлена решетчатая поверхность с продольными отверстиями длиной 900 мм и шириной 12 мм. Установка имитировала работу наклонной камеры зерноуборочного комбайна, решетчатое днище которой должно выделять из очесанного вороха свободное зерно и направлять его на очистку, минуя молотильный аппарат. В связи с этим скорость движения скребкового транспортера составляла 3 м/с. Прошедший сквозь отверстия решетки ворох улавливался, после чего осуществлялись его разборка на фракции и учет. В результате эксперимента установлено, что по мере уменьшения в ворохе массовой доли зерна скорость сепарации последнего в пределах зоны варьирования исходного параметра уменьшается на 4%. Следовательно, целесообразно предварительное удаление из очесанного вороха значительной доли легких примесей до его поступления в наклонную камеру.

Ключевые слова: очес зерна, сепарация очесанного вороха, наклонная камера, решетчатая поверхность.

INFLUENCE OF THE COMPOSITION OF COLLECTED GRAIN HEAP ON THE EFFICIENCY OF ITS SEPARATION ON A GRID SURFACE

Viktor Ozherelev¹, Viktor Nikitin², Vladimir Savin³

^{1,2} Bryansk State Agrarian University, Bryansk, Russian Federation

³ Kaluga branch of Moscow State Technical University named after N.E. Bauman, Kaluga, Russian Federation

¹vicoz@bk.ru, <https://orcid.org/0000-0002-2121-3481>

²viktor.nike@yandex.ru, <https://orcid.org/0000-0003-1393-2731>

³savin.study@yandex.ru, <https://orcid.org/0000-0002-2476-9768>

Abstract. *The separating ability of the lattice surface when working with combed grain heaps of various fractional compositions was studied. The scientific hypothesis of the study is the assumption that with an increase in the mass fraction of chaff in the heap, the separation efficiency should decrease due to an increase in the volume of grain with a constant mass of the sample of the heap under study as the grain content decreases due to the larger volumetric mass of the latter compared to the chaff. It is a legitimate assumption that the passage of a larger volume of heap through the holes of the lattice surface requires more time, that is, the separation rate should decrease. Experimental studies were carried out on a combed grain heap of wheat variety Moskovskaya 56 with a relative humidity of 12%. The mass fraction of grain in the heap varied from 100 to 60% in increments of 10%. The experimental installation was made on the basis of the grain elevator of the KZS 1218 combine harvester, in which, instead of the dismantled lower wall, a lattice surface with longitudinal holes 900 mm long and 12 mm wide was installed. The installation simulated the operation of the inclined chamber of a combine harvester, the lattice bottom of which should separate free grain from the combed heap and direct it for cleaning, bypassing the threshing apparatus. In this regard, the speed of the scraper conveyor was 3 m/s. The heap that passed through the holes in the lattice was caught, after which it was disassembled into fractions and accounted for. As a result of the experiment, it was established that as the mass fraction of grain in the heap decreases, the separation rate of the latter within the zone of variation of the initial parameter decreases by 4%. Therefore, it is advisable to first remove a significant portion of light impurities from the combed heap before it enters the inclined chamber.*

Keywords: *combing grain, separation of combed heap, feeder chamber, lattice surface.*

Для цитирования: Ожерельев В.Н., Никитин В.В., Савин В.Ю. Влияние состава очесанного зернового вороха на эффективность его сепарации на решетчатой поверхности // Наука в центральной России Science in the Central Russia. 2024. Т. 68, № 2. С. 7-14. <https://doi.org/10.35887/2305-2538-2024-2-7-14>.

For citation: Ozherelev V., Nikitin V., Savin V. The influence of the composition of a combed grain heap on the efficiency of its separation on a lattice surface. *Nauka v central'noj Rossii = Science in the Central Russia*: 2024; 68(2): 7-14. (In Russ.) <https://doi.org/10.35887/2305-2538-2024-2-7-14>.

Введение. Исследования отечественных ученых свидетельствуют о том, что уборка зерна методом его очеса на корню содержит потенциал к уменьшению энергоемкости уборочного процесса в 1,4 - 2 раза по сравнению с использованием традиционного зерноуборочного комбайна [1-4]. Внедрение энергосберегающего способа уборки в производство сдерживается вследствие того, что серийные зерноуборочные комбайны не приспособлены к работе с очесанным зерновым ворохом [5]. Дело в том, что в нем может содержаться до 80% свободного зерна, которое поступает в молотильный аппарат без наличия в этом технологической необходимости. В результате на привод барабана расходуется дополнительно не менее 10 кВт мощности, а доля дробленого зерна в бункере может достигать 5% [6].

Очевидно, что для оптимизации технологического процесса целесообразно выделить из потока очесанного вороха свободное зерно и направить его в систему очистки комбайна минуя молотильный аппарат. В частности, это можно осуществить непосредственно в наклонной камере жатки комбайна, снабдив ее решетчатым днищем 3 (рисунок 1) [7, 8]. Из перемещаемого скребками транспортера 2 очесанного вороха на отверстиях решетчатого днища 3 выделяется проходом свободное зерно 5 (с сопутствующими мелкими примесями) которое дополнительным транспортирующим органом 4 подается непосредственно на транспортную доску 6 системы очистки комбайна. В результате в молотильное устройство должны поступать, в основном, недомоленные колосья, куски соломин и лишь небольшая часть свободного зерна.

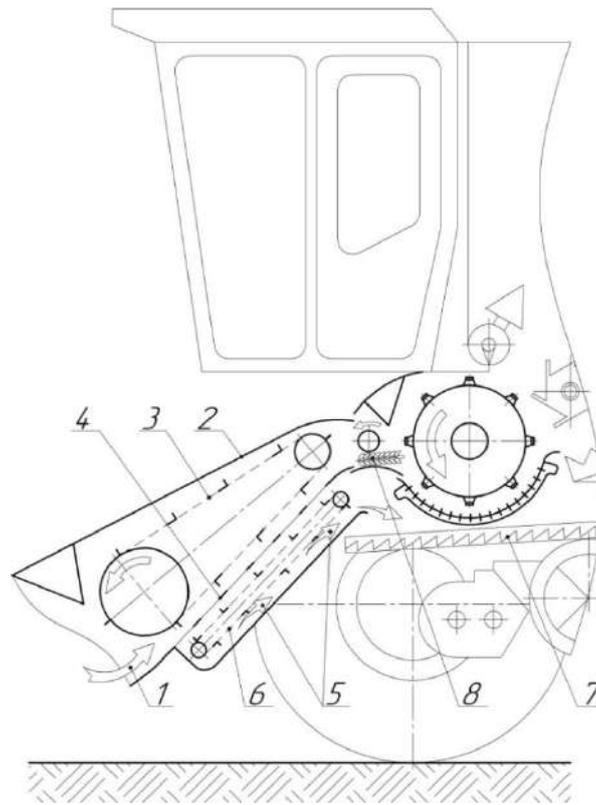


Рисунок 1 - Общий вид зерноуборочного комбайна с модернизированной наклонной камерой:
1 – наклонная камера; 2 – плавающий транспортер; 3 – решетчатое днище;
4 – дополнительный скребковый транспортер; 5 – свободное зерно; 6 – транспортная доска

Результаты проведенных экспериментальных исследований в целом подтверждают указанную гипотезу. Как правило, при длине решетчатой части днища 920 мм удается выделить более 80% свободного зерна. Экстраполяция результата экспериментов в сторону потенциальной возможности удлинения решетчатой части днища наклонной камеры показывает, что, в принципе, в серийных зерноуборочных комбайнах можно добиться почти полного выделения свободного зерна до его поступления в молотильное устройство [9].

Более глубокий анализ результатов экспериментов позволил выявить не до конца реализованные возможности улучшения эффективности сепарации очесанного зернового вороха в наклонной камере. Дело в том, что, как правило, эксперименты проводили при стабильном фракционном составе вороха. При этом имело место наличие в нем (по массе) до 20% легких примесей. С учетом различия в объемной массе зерна и половины реальный объем компонентов вороха имеет совершенно иные пропорции. То есть, при незначительном увеличении массовой доли легких примесей непропорционально увеличивается их объем, что может отрицательно отразиться на эффективности процесса сепарации, если принять в качестве рабочей гипотезы наличие зависимости скорости сепарации от объема вороха.

Цель исследований. Если базироваться на принятой выше гипотезе исследования, заключающейся в том, что увеличение в очесанном зерновом ворохе массовой доли половины непропорционально увеличивает объем предполагаемого прохода и уменьшает скорость сепарации, то было бы целесообразно предварительно удалить значительную часть легких примесей до их поступления в наклонную камеру. В связи с этим целью исследований является установление реальной зависимости скорости сепарации свободного зерна от его содержания в очесанном ворохе. В результате этого можно оценить актуальность изменения конструкции

очесывающего адаптера, обеспечивающего предварительное удаление из вороха до его поступления в наклонную камеру значительной части легких примесей.

Материалы и методы. Для проведения эксперимента на базе колосового элеватора комбайна КЗС-1218 была разработана экспериментальная установка (рисунок 2). Нижняя стенка корпуса 1 элеватора была демонтирована, а вместо нее установлена решетчатая поверхность 3 длиной 920 мм, в которой выполнены продольные отверстия длиной 900 мм и шириной 12 мм. Неизменным сохранен скребковый транспортер 2, привод которого осуществлялся посредством электродвигателя 6 и цепной передачи 7. Частотный преобразователь 8 («Веспер» E2-8300) позволяет бесступенчато изменять скорость движения скребкового транспортера 2. Кроме того, система крепления элеватора позволяет изменять угол его наклона от 0 до 45°.

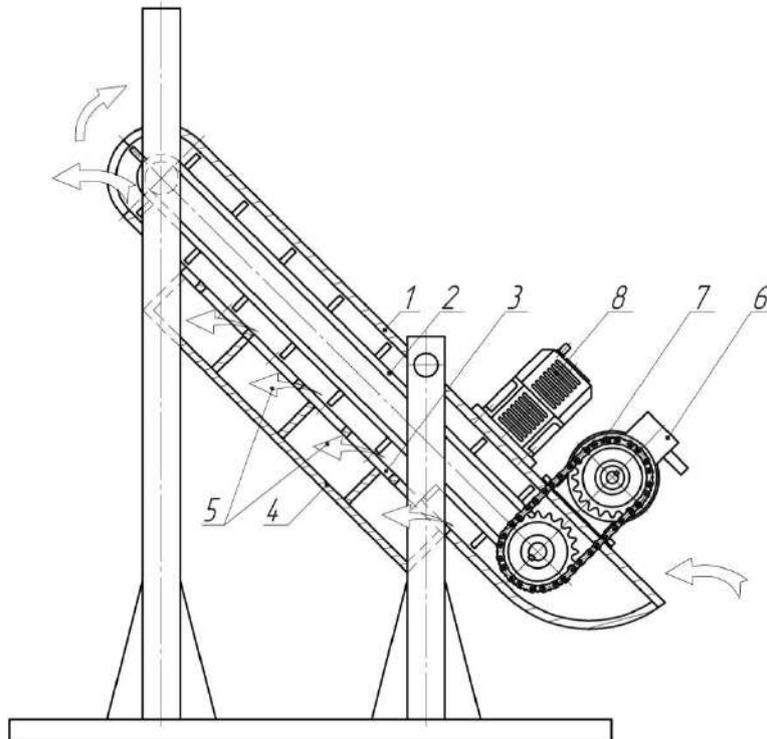


Рисунок 2 - Принципиальная схема экспериментальной установки:

1 – корпус колосового элеватора; 2 – транспортер скребковый; 3 – решетка; 4 – емкость;
5 – проход вороха; 6 – электродвигатель; 7 – передача цепная; 8 - частотный преобразователь
«Веспер» E2-8300

Эксперимент был спланирован как однофакторный, с варьированием доли свободного зерна в подаваемом ворохе от 100% до 60% с шагом варьирования в 10%. При этом масса навески сохранялась неизменной и составляла 1 кг. При переходе на очередное значение факторного признака соответствующая масса зерна удалялась из навески и заменялась легкими примесями такой же массы. При этом при неизменной массе навески ее объем увеличивался. Эксперимент выполняли на пшенице сорта Московская 56 влажностью 12%.

Эксперимент проводили следующим образом. Устанавливали корпус 1 элеватора в горизонтальное положение и включали электродвигатель 6, доводя с помощью частотного преобразователя 8 частоту его вращения до величины, обеспечивающей линейную скорость скребкового транспортера 2 соответствующей скорости скребков плавающего транспортера наклонной камеры комбайна (3 м/с). После этого в течение 1 секунды навеска вороха подавалась на вход скребкового транспортера 2. Полученный в результате сепарации проход 5 вороха, включавший свободное зерно и сопутствующие ему мелкие сопоставимого размера, накапливался в размещенной под решетчатой поверхностью 3 емкости 4. После остановки

электродвигателя 6 емкость 4 снимали, разбирали ворох 5 по фракциям и определяли массовую долю свободного зерна, прошедшего сквозь отверстия решетчатой поверхности 3. Эксперимент был выполнен в пятикратной повторности.

Результат и его обсуждение. Результаты эксперимента приведены на рисунок 3. Они свидетельствуют о том, что имеет место линейная зависимость между массовой долей в ворохе свободного зерна и его проходом сквозь отверстия решетчатой поверхности (рис. 3а). Величина коэффициента детерминации ($R^2 = 0,996$) свидетельствует о высокой степени адекватности линейной зависимости между величиной прохода сквозь отверстия решетчатой поверхности свободного зерна и его массовой долей в ворохе

$$П_{з\text{ер}} = 0,101 \cdot C_{з\text{ер}} + 70,479 \quad (1),$$

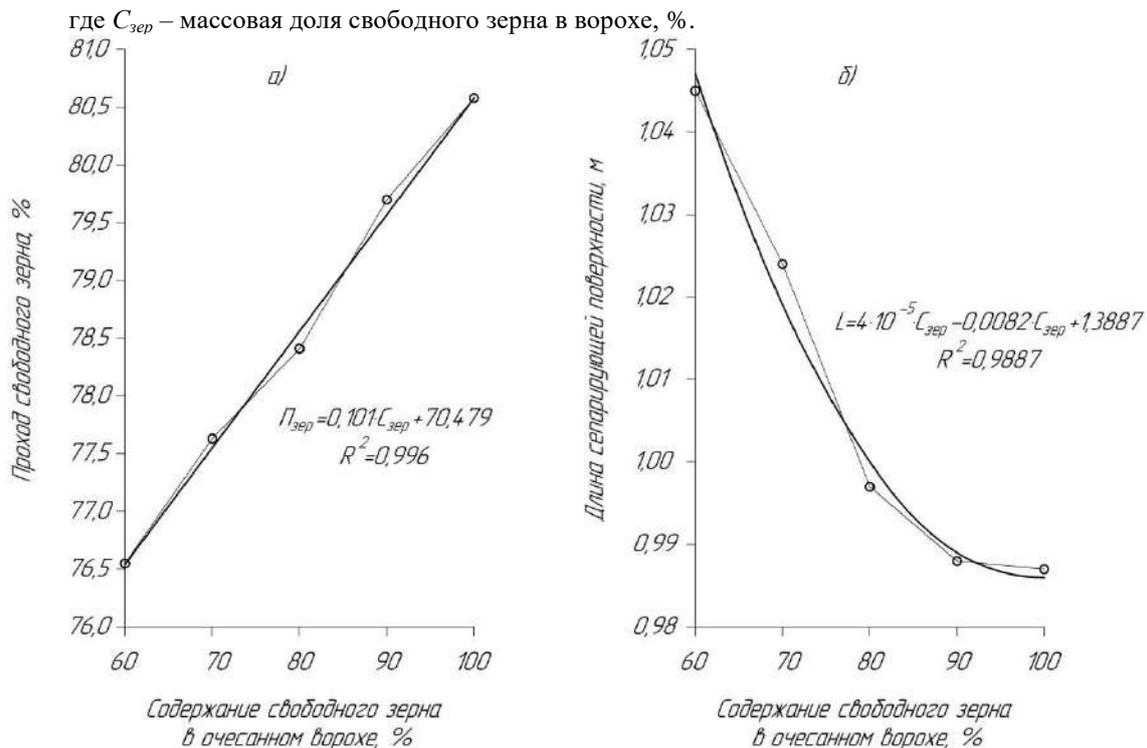


Рисунок 3 - Результаты эксперимента:

- а) зависимость прохода свободного зерна от его массовой доли в ворохе; б) экстраполяция длины решетчатой поверхности, необходимой для полного прохода свободного зерна

Уменьшение в ворохе массовой доли свободного зерна до 60% снижает его проход сквозь отверстия решетчатой поверхности на 4%. Экстраполяция полученной зависимости позволила установить, что для того, чтобы обеспечить полный проход свободного зерна сквозь отверстия решетчатой поверхности, в зависимости от массовой доли в ворохе свободного зерна, ее длина должна варьироваться в пределах от 0,98 м до 1,05 м (рис. 3б). При этом с высокой степенью достоверности ($R^2 = 0,9887$) между длиной решетчатой поверхности и массовой долей свободного зерна подчиняется полиномиальной зависимости второго порядка

$$L = 4 \cdot 10^{-5} \cdot C_{з\text{ер}}^2 - 0,0082 \cdot C_{з\text{ер}} + 1,3887. \quad (2)$$

То есть, как и было установлено ранее, длина решетчатой поверхности близка к длине днища наклонной камеры серийного зерноуборочного комбайна. Тем не менее, предварительное удаление части легких примесей до поступления вороха в наклонную камеру имеет смысл.

Для осуществления этого процесса предложено несколько вариантов конструктивных решений. Они основаны на инерционном способе разделения в воздушном потоке компонентов с разной парусностью. В частности, (рисунок 4) предполагается, что разделение свободного зерна и

половы можно осуществить посредством жалюзи 10, смонтированных на задней стенке 9 корпуса 5 очесывающего адаптера. Движущийся сверху вниз (по направлению стрелки 18) воздушный поток, содержащий легкую полову и более тяжелое свободное зерно резко изменяет направление движения, проходя между пластинами жалюзи 10. В результате обладающая высокой парусностью полова и другие легкие примеси 19 удаляются из корпуса 5 адаптера вместе с воздухом, а более инерционные свободные зерна и недомолоченные колосья 20 выпадают из воздушного потока на днище корпуса 5 адаптера с которого посредством шнека 3 поступают к транспортеру 4 наклонной камеры.

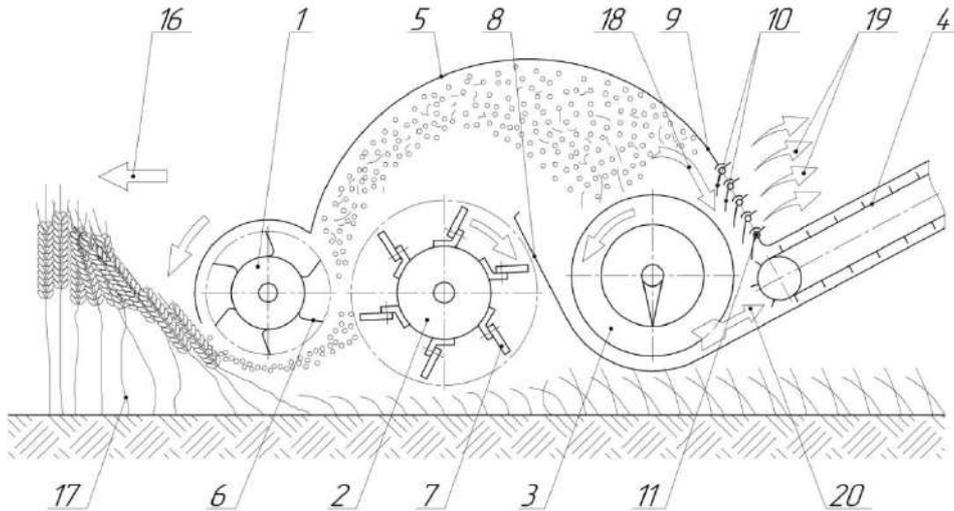


Рисунок 4 - Принципиальная схема удаления полова из корпуса очесывающего адаптера (Пат № 2566017 РФ)

Второй вариант конструктивного решения основан на резком изменении поперечного сечения воздушного потока, генерируемого очесывающим барабаном 2 (рисунок 5).

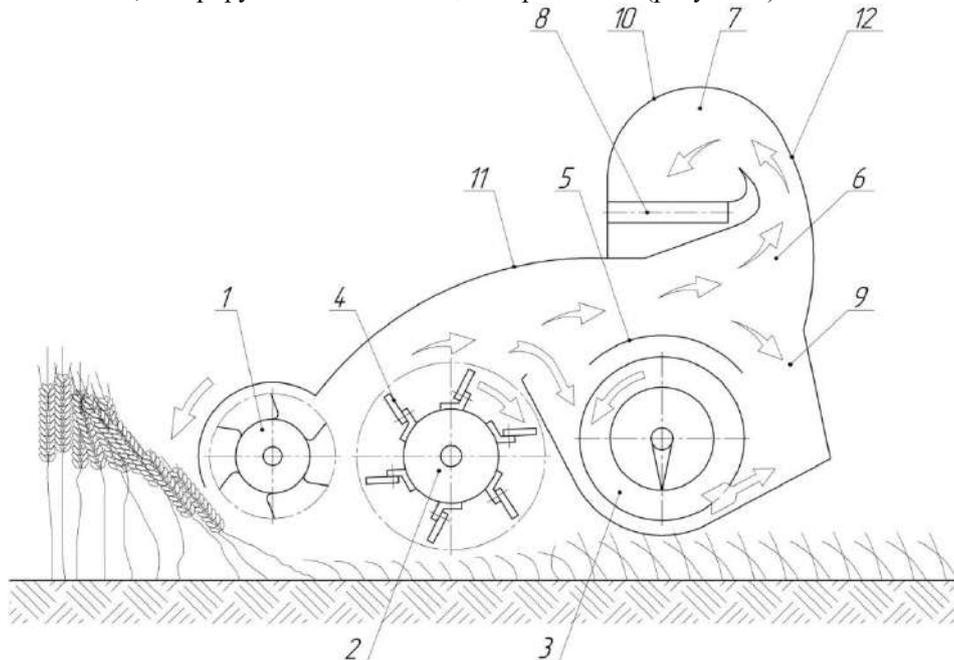


Рисунок 5 - Очесывающий адаптер с разделением компонентов за счет изменения скорости воздушного потока

Посредством швыркового эффекта и под воздействием воздушного потока, создаваемого очесывающим барабаном 2, очесанная масса перемещается и разделяется. Свободное зерно, как менее парусный и более тяжелый компонент, осаживается на шнек 3, а легкие примеси, обладающие более высокой парусностью, уносятся воздушным потоком по воздушному каналу 6 в осадочную камеру 7. Зерно, попавшее между направляющим щитком 5 и верхней стенкой корпуса 11, теряет скорость в районе продольного окна 9 вследствие увеличения поперечного сечения канала и так же осаживается на шнек 3. Из осадочной камеры 7 более легкие и обладающие высокой парусностью частицы вороха выводятся транспортером 8 и выбрасываются сбоку очесывающего устройства.

Принципиальная работоспособность последнего технического решения подтверждена в результате испытания масштабной модели предлагаемого устройства.

Выводы.

1. Эффективность сепарации очесанного зернового вороха на решетчатой поверхности зависит от массовой доли в нем свободного зерна. При уменьшении ее со 100% до 60% интенсивность сепарации уменьшается на 4%. Следовательно, предварительное удаление из очесанного зернового вороха легких примесей является актуальной задачей.

2. Существуют технические решения, обеспечивающие предварительное выделение из очесанного зернового вороха наиболее легких компонентов с высокой парусностью до его поступления в наклонную камеру комбайна.

Список источников

1. Червяков И.В. Совершенствование процесса уборки зерновых культур комбайновым очесом: автореф. дис. ... канд. техн. наук. Ростов-на-Дону, 2020. 22 с.

2. Lovchikov A.P., Ognev I.I. Theoretical background for the development of stationary process of grain mass threshing with a combine harvester. E3S Web of Conferences. Sevastopol, 2020. p. 01004. (In Eng.). doi: <https://doi.org/10.1051/e3sconf/202019301004>.

3. Konstantinov M., Glushkov I., Mukhamedov V., Lovchikov A. Increase in soil moisture reserves due to the formation of high stubble residues for the accumulation of snow precipitation. IOP Conference Series: Earth and Environmental Science. Vladivostok, 2021. p. 052049. (In Eng.). doi: <https://doi.org/10.1088/1755-1315/666/5/052049>.

4. Пустыгин М.А. Теория и технологический расчет молотильных устройств. М.: ОГИЗ-СЕЛЬХРЗГИЗ, 1948. 96 с.

5. Ожерельев В.Н., Никитин В.В. Результаты адаптации конструкции комбайна к работе с очесывающей жаткой // Инженерные технологии и системы. 2022, Т. 32, №2. С. 190-206.

6. Никитин В.В. Совершенствование технологической схемы зерноуборочного комбайна и параметров его рабочих органов: дис. ... докт. техн. наук. Брянск, 2021. 350 с.

7. Наклонная камера зерноуборочного комбайна: А. С. 1687078 СССР / Дементьев А.В., Скорик В.И., Пастухов Б.К., Садыков Ж.С., Андрусенко Б.И. № 4689013/15; заявл. 12.05.1989; опубл. 30.10.1991, Бюл. № 40. 5с.

8. Зерноуборочный комбайн: патент 2680666 Российская Федерация / Шабанов Н.П., Хабрат Н.И., Умеров Э.Д. № 2016149302; заявл. 14.12.2016; опубл. 25.02.2019, Бюл. № 8. 4 с. URL: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=41019193>.

9. Ozherelyev V.N., Nikitin V.V., Komogortsev V.F. Comparison of different methods for preliminary separation of free grain when hatching standing plants // IOP Conference Series: Materials Science and Engineering. International Science and Technology Conference (FarEastCon 2020). 2021. Vol. 1079. Chapter 5. p. 062088. (In Eng.). doi: <https://doi.org/10.1088/1757-899X/1079/6/062088>.

References

1. Chervyakov I.V. Improving the process of harvesting grain crops using combine tow: abstract of thesis. dis. ...cand. tech. Sci. Rostov-on-Don, 2020. 22 p.

2. Lovchikov A.P., Ognev I.I. Theoretical background for the development of stationary process of grain mass threshing with a combine harvester. E3S Web of Conferences. Sevastopol, 2020. p. 01004. (In Eng.). doi: <https://doi.org/10.1051/e3sconf/202019301004>.

3. Konstantinov M., Glushkov I., Mukhamedov V., Lovchikov A. Increase in soil moisture reserves due to the formation of high stubble residues for the accumulation of snow precipitation. IOP Conference Series: Earth and Environmental Science. Vladivostok, 2021. p. 052049. (In Eng.). doi: <https://doi.org/10.1088/1755-1315/666/5/052049>.
4. Pustygin M.A. Theory and technological calculation of threshing devices. M.: OGIZ-SELKHRZGIZ, 1948. 96 p.
5. Ozherelev V.N., Nikitin V.V. Results of adapting the combine design to work with a stripper header // Engineering technologies and systems. 2022, T. 32, No. 2. pp. 190-206.
6. Nikitin V.V. Improving the technological scheme of a grain harvester and the parameters of its working parts: dis. ... doc. tech. Sci. Bryansk, 2021. 350 p.
7. Inclined chamber of a combine harvester: A. S. 1687078 USSR / Demytyev A.V., Skorik V.I., Pastukhov B.K., Sadykov Zh.S., Andrusenko B.I. No. 4689013/15; application 05/12/1989; publ. 10/30/1991, Bulletin. No. 40. 5s.
8. Combine harvester: patent 2680666 Russian Federation / Shabanov N.P., Khabrat N.I., Umerov E.D. No. 2016149302; application 12/14/2016; publ. 02/25/2019, Bulletin. No. 8. 4 pp. URL: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=41019193>.
9. Ozherelyev V.N., Nikitin V.V., Komogortsev V.F. Comparison of different methods for preliminary separation of free grain when hatcheling standing plants // IOP Conference Series: Materials Science and Engineering. International Science and Technology Conference (FarEastCon 2020). 2021. Vol. 1079. Chapter 5. p. 062088. (In Eng.). doi: <https://doi.org/10.1088/1757-899X/1079/6/062088>.

Информация об авторах

В.Н. Ожерельев – доктор с.-х. наук, профессор; В.В. Никитин – д.т.н., доцент; В.Ю. Савин – к.т.н., доцент.

Information about the authors

V. Ozherelyev – Doctor of Agricultural Sciences, professor; V. Nikitin – doctor of technical sciences; V. Savin – candidate of technical sciences.

Вклад авторов: В.Н. Ожерельев – написание текста статьи; В.В.Никитин – организация и выполнение эксперимента; В.Ю. Савин – обработка результатов, участие в оформлении статьи.

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Contribution of the authors: V. Ozherelyev – writing the text of the article; V. Nikitin – organization and execution of the experiment; V. Savin – processing of results, participation in the preparation of the article.

The authors declare no conflict of interest.

Поступила в редакцию (Received): 13.03.2024 Принята к публикации (Accepted): 23.04.2024