

## ТЕХНОЛОГИИ И СРЕДСТВА МЕХАНИЗАЦИИ СЕЛЬСКОГО ХОЗЯЙСТВА (ТЕХНИЧЕСКИЕ НАУКИ)

Научная статья

УДК 631.362.3

DOI: 10.53914/issn2071-2243\_2022\_1\_48

### Влияние размещения сортировальных решет на эффективность фракционного разделения зернового вороха

Алексей Михайлович Гиевский<sup>1</sup>, Владимир Иванович Оробинский<sup>2</sup>, Алексей Викторович Чернышов<sup>3</sup>, Наталья Митрофановна Дерканосова<sup>4</sup>, Михаил Константинович Харитонов<sup>5</sup>

<sup>1, 2, 3, 4, 5</sup>Воронежский государственный аграрный университет имени императора Петра I, Воронеж, Россия

<sup>3</sup>lexa-c@yandex.ru

**Аннотация.** Представлены результаты экспериментальных исследований, выполненных на неочищенном комбайновом ворохе озимой пшеницы сорта Алая заря с целью определения эффективности разделения зернового вороха на фуражную и семенную фракции при различных схемах размещения сортировальных решет в решетном стане. Экспериментальная установка состояла из двухаспирационной пневмосистемы с отдельными осадочными камерами для каждой аспирации и решетного модуля с двумя последовательно работающими решетными станами с шариковой очисткой отверстий решет от зававшего зерна. Установка позволяла полностью моделировать процесс работы универсальной зерноочистительной машины, при этом предусматривалась возможность регулирования частоты колебания станов и угла наклона отдельно колосовых и сортировальных решет в горизонтальной плоскости. Результаты работы решетной очистки при размещении сортировальных решет в один, два и три яруса оценивали полнотой выделения фуражных фракций, которые поступали в отдельные сборники. Установлено, что получение семенного материала с использованием универсальных воздушно-решетных машин при удельной подаче более 0,45 кг/(с·дм) возможно при оборудовании решетного стана двумя и тремя ярусами параллельно работающих сортировальных решет. При размещении сортировальных решет в два яруса полнота выделения фуражной фракции составляла 83% при длине решет в каждом ярусе 2,82 м и удельной производительности не более 1,8 т/(ч·дм). Для очистки вороха на семенные цели показано преимущество использования трехъярусной схемы размещения сортировальных решет, при которой полнота выделения фуражной фракции достигала 80% уже при длине сортировальных решет в каждом ярусе 1,88 м и удельной производительности не более 1,8 т/(ч·дм), а при добавлении в каждый ярус третьего решета полнота выделения фуражных фракций превышала 90%.

**Ключевые слова:** послеуборочная обработка зерна, зерноочистительная машина, решетный стан, сортировальные решета, зерновой ворох, полнота выделения

**Для цитирования:** Гиевский А.М., Оробинский В.И., Чернышов А.В., Дерканосова Н.М., Харитонов М.К. Влияние размещения сортировальных решет на эффективность фракционного разделения зернового вороха // Вестник Воронежского государственного аграрного университета. 2022. Т. 15, № 1(72). С. 48–56. [https://doi.org/10.53914/issn2071-2243\\_2022\\_1\\_48-56](https://doi.org/10.53914/issn2071-2243_2022_1_48-56).

## TECHNOLOGIES AND MECHANICAL MEANS IN AGRICULTURE (ENGINEERING SCIENCES)

Original article

### Influence of sorting sieves location on the efficiency of fractional separation of the grain heap

Aleksey M. Gievsky<sup>1</sup>, Vladimir I. Orobinsky<sup>2</sup>, Aleksey V. Chernyshov<sup>3</sup>,  
Natalia M. Derkanosova<sup>4</sup>, Mikhail K. Kharitonov<sup>5</sup>

<sup>1, 2, 3, 4, 5</sup>Voronezh State Agrarian University named after Emperor Peter the Great, Voronezh, Russia

<sup>3</sup>lexa-c@yandex.ru

**Abstract.** The authors present the results of experimental studies performed on an unrefined combine heap of winter wheat of the Alaya Zarya variety in order to determine the efficiency of separating the grain heap into feed and seed fractions with various schemes of sorting sieves placing in a sieve mill. The experimental setup consisted of a two-aspiration pneumatic system with separate settling chambers for each aspiration and a sieve module with two sequentially operating sieve mills with ball cleaning of sieve holes from trapped grain. The installation made it possible to fully simulate the operation of a universal grain cleaning machine, as well as regulate the oscillation frequency of the mills and the angle of inclination of the separate feeder and sorting sieves

in the horizontal plane. The results of the sieve cleaning when placing sorting sieves in one, two and three tiers were evaluated by the completeness of the separation of feed fractions that were submitted in separate collector boxes. It has been defined that it is possible to obtain seed material using universal air-sieve machines with a specific feed of more than 0.45 kg/(s·dm) when the sieve mill is equipped with two and three tiers of parallel working sorting sieves. When placing sorting sieves in two tiers, the completeness of the separation of the feed fraction was 83% with the length of the sieves in each tier of 2.82 m and a specific productivity of no more than 1.8 t/(h·dm). To clean the heap for seed purposes it is more preferable to use a three-tier layout of sorting sieves, in this case the completeness of feed fractions separation reached 80% already with the length of the sorting sieves in each tier of 1.88 m and a specific productivity of no more than 1.8 t/(h·dm), and when adding a third sieve to each tier, the completeness of feed fractions separation increased to 90%.

**Keywords:** post-harvest grain processing, grain cleaning machine, sieve mill, sorting sieves, grain heap, completeness of separation

**For citation:** Gievsky A.M., Orobinsky V.I., Chernyshov A.V., Derkanosova N.M., Kharitonov M.K. Influence of sorting sieves location on the efficiency of fractional separation of the grain heap. *Vestnik of Voronezh State Agrarian University*. 2022;15(1):48-56. (In Russ.). [https://doi.org/10.53914/issn2071-2243\\_2022\\_1\\_48-56](https://doi.org/10.53914/issn2071-2243_2022_1_48-56).

## **В**ведение

Современные поточные зерно- и семяочистительные линии в своем большинстве укомплектованы технологическим оборудованием зарубежных производителей и реализуют двухэтапную технологию подготовки семян [1, 3, 4, 5, 6, 14], которая предусматривает последовательный пропуск всего зернового вороха через машины с однотипными рабочими органами с выделением определенной части примесей и фуражной фракции машинами в зависимости от их назначения или места в поточной линии. Вместе с тем следует отметить, что широко применяемые в последние годы технологии возделывания зернобобовых культур и техническое обеспечение уборочных работ позволили существенно сократить содержание примесей и незерновых компонентов в исходном комбайновом ворохе. Учитывая последнее обстоятельство, можно предположить наличие возможности подготовки семян зернобобовых культур путем однократного пропуска через универсальную высокоэффективную воздушно-решетную машину с требуемой полнотой выделения фуражной фракции. В связи с вышеизложенным разработана универсальная двухаспирационных воздушно-решетных семяочистительных машин, работающих по принципу фракционной технологии очистки, производительность которых при подготовке семян будет увеличена в 1,5–1,8 раза, является одной из основных задач на этапах послеуборочной обработки и подготовки семян [2, 12, 15].

В современных универсальных двухаспирационных воздушно-решетных машинах разделение зернового вороха происходит в основном по геометрическим размерам (длине, ширине, толщине) и аэродинамическим свойствам (особенностям поведения зерновок в воздушном потоке) [3, 8, 9].

За счет различий в размерных характеристиках решетной очистки можно потенциально выделять от 50 до 80% фуражной фракции, в связи с чем эффективная работа решетной очистки является одной из основных составляющих, обеспечивающих высокое качество работы универсальных двухаспирационных воздушно-решетных семяочистительных машин [7, 10, 11, 13, 16].

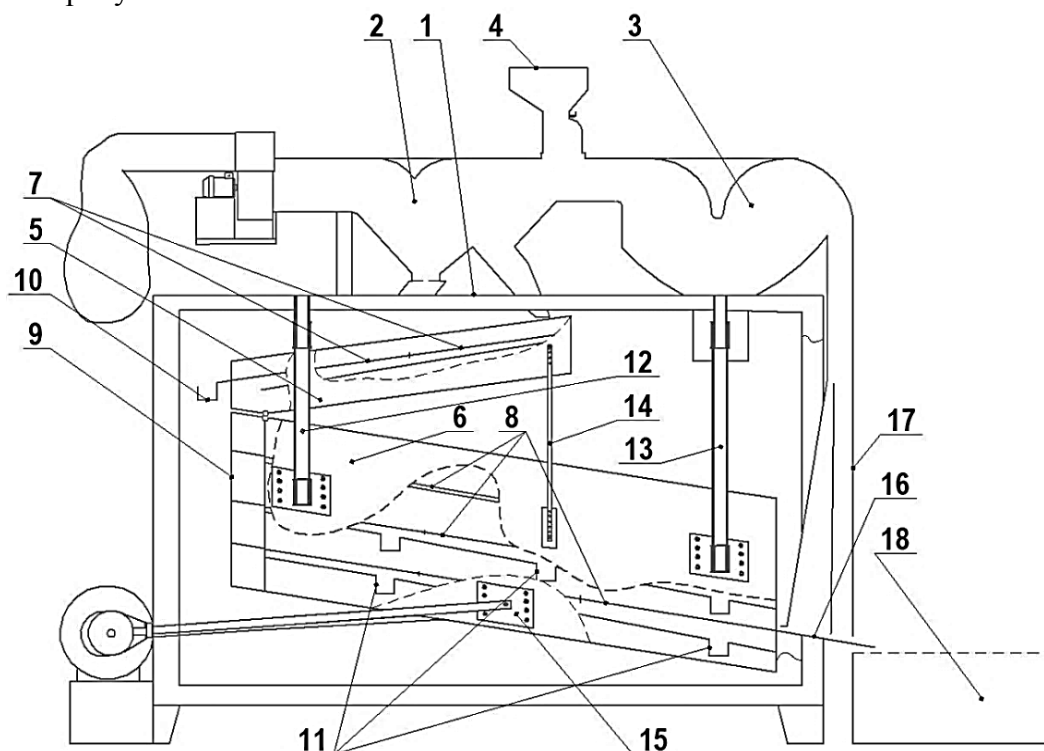
Целью проведенного исследования являлось повышение эффективности работы решетной очистки за счет обоснования рациональной схемы размещения сортировальных решет в стане.

### **Материалы и методы**

Экспериментальные исследования проводились в лаборатории кафедры сельскохозяйственных машин, тракторов и автомобилей Воронежского государственного аграрного университета.

В качестве зернового материала использовали неочищенный комбайновый ворох озимой пшеницы сорта Алая заря.

Исследование проводили на экспериментальной установке, схема которой приведена на рисунке 1.



**Рис. 1.** Схема экспериментальной установки: 1 – рама; 2 – пневмосепарирующий канал дорешетной аспирации; 3 – двухаспирационная пневмосистема; 4 – загрузочное устройство; 5 – верхний решетный стан; 6 – нижний решетный стан; 7 – колосовые решета; 8 – сортировальные решета; 9 – делитель зернового вороха; 10 – лоток для вывода крупных примесей; 11 – лотки для вывода мелких примесей и фуражной фракции; 12 – передняя подвеска; 13 – задняя подвеска; 14 – подвеска, и меняющая угол наклона верхнего решетного стана; 15 – привод решетного стана; 16 – сетчатая поверхность; 17 – пневмосепарирующий канал послерешетной аспирации; 18 – сборник очищенного зерна

Экспериментальная установка состояла из рамы 1, на которой были расположены различные элементы, такие как двухаспирационная пневмосистема 3, включающая пневмосепарирующий канал дорешетной 2 и послерешетной 17 аспирации, загрузочное устройство 4, верхний 5 и нижний 6 решетный станы, которые подвешивались на подвесках 12 и 13, а привод осуществлялся при помощи механизма 15. В верхнем решетном стане в один ярус устанавливались последовательно два колосовых решета 7, в качестве которых использовались решетчатые полотна с круглыми пробивными отверстиями диаметром 8,0 мм. Нижний решетный стан в своем составе имел только сортировальные решета 8, которые размещались в зависимости от схемы опыта в один, два или три яруса.

Количество решетчатых полотен с продолговатыми отверстиями, которые использовались в качестве сортировальных решет, изменялось от одного до трех.

Рабочая длина каждого полотна составляла 0,94 м.

Для пропорционального разделения зернового вороха, очищенного от крупных примесей колосовыми решетами верхнего стана, между ярусами сортировальных решет использовали делитель 9.

Делитель зернового вороха 9 был выполнен в соответствии с техническим решением по патенту РФ № 2708970. Основу делителя составлял корпус с передней, задней и боковыми стенками. Вертикальные перегородки, размещенные через одинаковые расстояния между передней и задней стенками, образовывали открытые сверху и снизу разновеликие секции. Количество секций делителя кратно числу ярусов сортироваль-

ных решет нижнего стана. Передняя стенка каждой секции на двух или трех уровнях по высоте имела окна с перегородкой в нижней части в виде скатного лотка выпуклой формы, что обеспечивало их размещение внахлест на соответствующем ярусе решет нижнего стана. Интервал расположения окон по высоте соответствовал высоте установки сортировальных решет в стане.

Для вывода крупных примесей с колосовых решет, а также мелкой примеси и фуражной фракции с каждого сортировального решета установлены соответственно лотки 10 и 11, а для вывода очищенного зерна – сборник 18.

На экспериментальной установке предусматривалась возможность изменения угла наклона колосовых и сортировальных решет в горизонтальной плоскости.

Очистка решет осуществлялась шариковыми очистителями.

Длину сортировальных решет изменяли путем перекрытия пробивных отверстий на решетных полотнах глухой поверхностью, которая закреплялась на рамке соответствующего яруса, частоту колебаний стана – в пределах от 250 до 400 мин<sup>-1</sup> за счет применения частотного преобразователя марки СТА-А2.

Измерения проводили с помощью механического тахометра марки ТЧ10-Р.

Угол наклона сортировальных решет устанавливали путем ступенчатого изменения длины подвесок стана 13 со стороны схода вороха с сортировальных решет 8, а измерения проводили лазерным дальномером BOSCH GLM 100 С Professional.

Характеристики исходного вороха озимой пшеницы сорта Алая заря определяли с помощью отсева лабораторного РЛ-1 с наборами решет с продолговатыми отверстиями. Средняя толщина зерновок составила 2,51 мм при среднеквадратическом отклонении 0,76 мм и массе 1000 семян 36,2 г.

Результаты работы решетной очистки при размещении сортировальных решет в один, два и три яруса оценивали полнотой выделения фуражных фракций сортировальными решетками.

Полноту выделения фуражной фракции вороха с толщиной  $b < b_{cp}$  определяли по формуле

$$\varepsilon_{cp} = \frac{\sum M_{cp}}{M_{on} \cdot P_{b < b_{cp}}^*} \cdot 100, \% \quad (1)$$

где  $M_{cp}$  – масса фуражных фракций вороха, выделенных сортировальными решетками, кг;

$M_{on}$  – общая масса вороха, прошедшего через установку за время опыта, кг;

$P_{b < b_{cp}}^*$  – доля фуражных фракций вороха с толщиной  $b < b_{cp}$  в исходном ворохе;

$b$  – толщина зерновки, мм;

$b_{cp}$  – средняя толщина зерновки, мм.

Общую массу вороха, прошедшего через установку за время опыта, определяли как сумму очищенного зерна и всех выделенных фракций из выражения

$$M_{on} = M_{окд} + M_{окл} + M_{оо} + \sum M_{cp} + M_{np} + M_{кр} + M_{оф}, \quad (2)$$

где  $M_{окд}$  – масса вороха, выделенного в осадочную камеру канала дорешетной очистки за время опыта, кг;

$M_{окл}$  – масса вороха, выделенного в осадочную камеру канала послерешетной очистки за время опыта, кг;

$M_{оо}$  – масса легковесных примесей, выделенных в сборник за время опыта, кг;

$\sum M_{cp}$  – масса фуражных фракций вороха, выделенных всеми сортировальными решетками, кг;

$M_{np}$  – масса мелких фракций вороха, выделенных подсевными решетками, кг;

$M_{кр}$  – масса крупных фракций вороха, выделенных колосовыми решетками, кг;

$M_{оф}$  – масса основной фракции вороха, выделенного за время опыта, кг.

После разборки образца основной фракции полноту выделения фуражных фракций сортировальными решетками находили по формуле

$$\varepsilon_{cp} = \left(1 - \frac{P_{b < b_{cp}}^o}{P_{b < b_{cp}}^*}\right) \cdot 100, \% \quad (3)$$

где  $P_{b < b_{cp}}^o$  – доля фуражных фракций вороха в основной фракции после очистки.

Полноту выделения фуражных фракций вороха отдельным сортировальным решетом оценивали как

$$\varepsilon_{cp}^i = \frac{M_{cp}^i}{M_{on} \cdot P_{b < b_{cp}}^* \cdot \left(1 - \frac{\varepsilon_{cp}^{i-1}}{100}\right)} \cdot 100, \% \quad (4)$$

где  $M_{cp}^i$  – масса фуражных фракций вороха, выделенных  $i$ -м сортировальным решетом, кг;

$\varepsilon_{cp}^{i-1}$  – полнота выделения фуражных фракций вороха впереди стоящим решетом (по направлению перемещения вороха в решетном стане), %.

### Результаты и их обсуждение

Проведенные ранее исследования на таких культурах, как пшеница, рожь, овес и ячмень [12, 16] позволили определить рациональные углы установки колосовых и сортировальных решет по отношению к горизонту.

Для колосовых решет угол наклона составил  $7^\circ$ , а для сортировальных решет –  $9^\circ$ . В связи с этим был сделан вывод о целесообразности размещения решет в разных станах.

Также была определена рациональная частота колебаний решетных станов, которая составила  $340 \text{ мин}^{-1}$  при амплитуде колебаний  $0,003 \text{ м}$  и установке в качестве сортировальных решет полотен с пробивными отверстиями прямоугольного сечения.

Результаты работы решетной очистки при размещении сортировальных решет в один, два и три яруса представлены на рисунке 2.

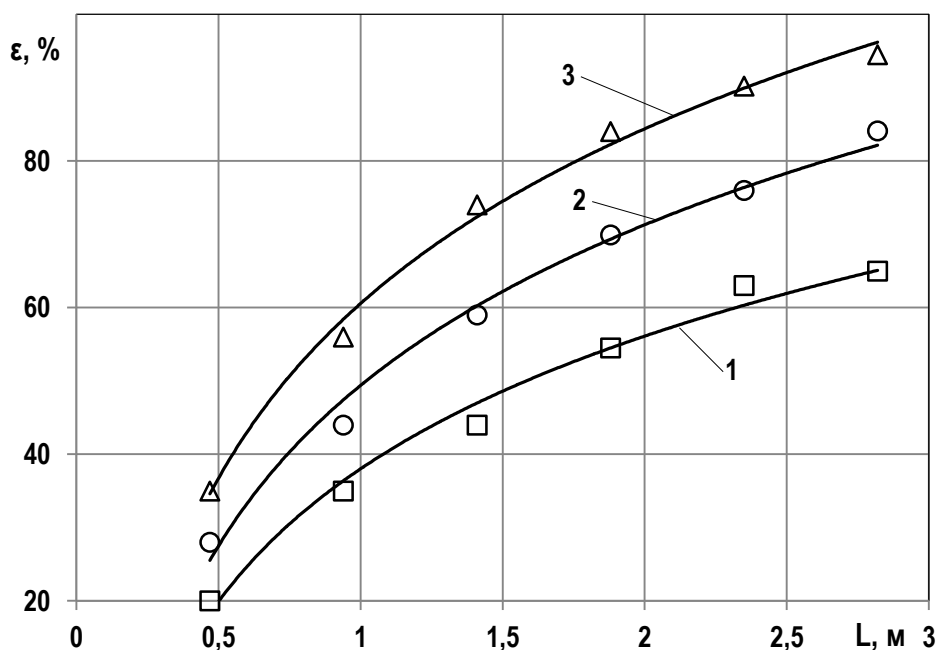


Рис. 2. Зависимость полноты разделения на фракции от длины сортировальных решет при их размещении в один (1), два (2) и три (3) яруса

Минимальная полнота выделения фуражной фракции отмечена при рабочей длине сортировальных решет 0,47 м во всех схемах их размещения:

- в одноярусной – свыше 20,0%;
- в двухъярусной – 28,0%;
- в трехъярусной – 35,0%.

В одноярусной схеме размещения сортировальных решет длиной 0,94 м в нижнем решетном стане полнота выделения фуражной фракции составляла 35,0%.

При добавлении в ярус второго полотна и суммарной длине сортировальных решет 1,88 м отмечено увеличение полноты выделения фуражной фракции до 54,5%; при установке третьего решетного полотна и суммарной длине сортировальных решет 2,82 м полнота выделения фуражных фракций повышалась до 65,0%, что достаточно для очистки зерна на товарные цели.

Таким образом, двухъярусная схема размещения сортировальных решет позволила повысить полноту выделения фуражной фракции до 83,0% при длине 2,82 м, что достаточно для очистки зерна на семенные цели. При длине решет более 1,50 м и их размещении в два яруса полнота выделения уже соответствует товарной очистке, как и при длине решет 2,82 м в одноярусной схеме размещения.

Полнота выделения фуражной фракции достигала 80,0% уже при длине сортировальных решет 1,88 м в каждом ярусе при использовании трехъярусной схемы расположения решет, а при добавлении в каждый ярус третьего сортировального полотна превысила 90,0%.

При использовании в трехъярусной схеме в каждом ярусе сортировальных решет длиной 1,0 м полнота выделения фуражных фракций составляла 60,0%, что является достаточным для очистки зерна на товарные цели. Удовлетворительные показатели по полноте выделения мелких примесей и фуражной фракции, необходимые для предварительной очистки, наблюдались в случае использования трехъярусной схемы расположения сортировальных решет при их минимальной длине 0,47 м.

Следует отметить, что такие результаты были достигнуты при следующих показателях решетного стана:

- удельная подача вороха озимой пшеницы –  $q = 0,4$  кг/(с·дм) или  $Q = 1,4$  т/(ч·дм);
- угол наклона сортировальных решет к горизонту –  $\alpha = 9,0^\circ$ ;
- амплитуда колебаний –  $A = 0,03$  м;
- частота колебаний –  $n = 340$  мин<sup>-1</sup>.

На рисунке 3 представлены графические зависимости изменения полноты выделения фуражных фракций от удельной подачи по всем трем схемам последовательного размещения трех решетных полотен общей рабочей длиной в каждом ярусе, равной 2,82 м.

Анализ приведенных на рисунке 3 зависимостей показал, что подготовка семян воздушно-решетной семяочистительной машиной возможна при удельной подаче более 0,45 кг/(с·дм) только в случае использования двух- и трехъярусных схем расположения сортировальных решет. Так, в двухъярусной схеме расположения сортировальных решет общей рабочей длиной в каждом ярусе 2,82 м полнота выделения фуражных фракций достигала максимального значения, равного 85,0%, а в трехъярусной схеме расположения сортировальных решет – почти 95,0%.

Одноярусная схема размещения сортировальных решет может быть рекомендована только для универсальных воздушно-решетных машин, которые используются для подготовки зерна на товарные цели. Допустимая удельная подача при такой схеме не должна превышать 0,5 кг/(с·дм). Что касается использования машин с двухъярусной схемой расположения сортировальных решет, то в данном случае удельная нагрузка возрастает до 0,80–0,85 кг/(с·дм), или в 1,66–1,70 раза.

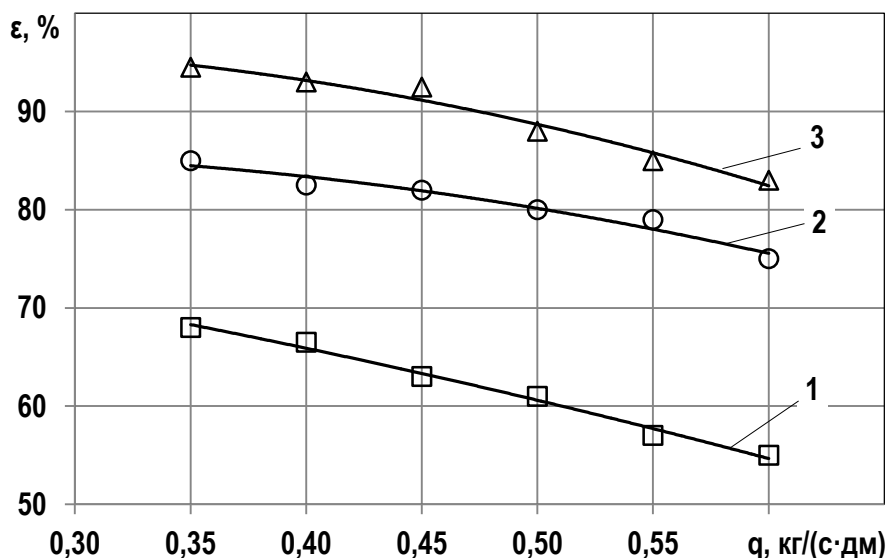


Рис. 3. Зависимости изменения полноты выделения фуражных фракций от удельной подачи при длине решет в каждом ярусе, равной 2,82 м, и размещении сортировальных решет в один (1), два (2) и три (3) яруса

Применение машин с трехъярусной схемой расположения сортировальных решет для очистки зерна на товарные цели позволит увеличить удельную нагрузку до 1,35–1,45 кг/(с·дм), или в 2,70–2,90 раза. При ширине решетного стана 1,5 м производительность машины может достигать 75–80 т/ч, что, в свою очередь, потребует увеличения площади колосовых решет за счет добавления еще одного яруса в верхний стан.

При подготовке семян пшеницы производительность универсальных воздушно-решетных машин с шириной воздушной и решетной очисток, равной 1,5 м, при использовании трехъярусной схемы размещения сортировальных решет и расположении в каждом ярусе в длину трех полотен может достигать 30–32,5 т/ч.

#### Выводы

Получение семенного материала с использованием универсальных воздушно-решетных машин при удельной подаче более 0,45 кг/(с·дм) возможно при оборудовании решетного стана двумя и тремя ярусами параллельно работающих сортировальных решет.

Двухъярусная схема размещения сортировальных решет позволяет получить полноту выделения фуражной фракции 83% при длине решет в каждом ярусе 2,82 м и удельной производительности не более 1,8 т/(ч·дм).

Трехъярусная схема расположения решет позволяет повысить полноту выделения фуражной фракции до 80% уже при длине сортировальных решет в каждом ярусе 1,88 м и удельной производительности не более 1,8 т/(ч·дм), а при добавлении в каждый ярус третьего сортировального решета – до 90% и выше.

При фракционном разделении зернового вороха пшеницы производительность универсальных воздушно-решетных машин, в которых ширина воздушной и решетной очисток равна 1,5 м, может достигать 30,0–32,5 т/ч при трехъярусной схеме размещения сортировальных решет и расположении в каждом ярусе в длину трех полотен.

#### Список источников

1. Бурков А.И., Андреев В.Л. Технология очистки семян зерновых культур с фракционированием на решетках и раздельной обработкой воздушным потоком // Научные труды ВИМ. 2002. Т. 141. С. 103–111.
2. Гиевский А.М., Гулевский В.А., Оробинский В.И. Пути повышения производительности универсальных зерноочистительных машин // Вестник федерального государственного образовательного учре-

- ждения высшего профессионального образования «Московский государственный агроинженерный университет имени В.П. Горячкина». 2018. № 3(85). С. 12–16. DOI: 10.26897/1728-7936-2018-3-12-16.
3. Ермолев Ю.И., Московский М.Н., Шелков М.В. и др. Фракционные технологии и технические средства для качественной семенной очистки зерна // Агромаркет. 2006. № 5. С. 24–25.
  4. Ермолев Ю.И., Шелков М.В., Бутовченко А.В. Новые технологии очистки семян на базе универсального зерноочистительного агрегата // Тракторы и сельскохозяйственные машины. 2007. № 9. С. 14–15.
  5. Ермолев Ю.И., Шелков М.В., Бутовченко А.В. Современные технологии и технические средства для очистки семенного зерна // Сельскохозяйственные машины и технологии. 2012. № 3. С. 29–32.
  6. Зюлин А.Н., Дринча В.М., Ямпиллов С.С. Фракционные технологии очистки семян зерновых // Земледелие. 1998. № 6. С. 39.
  7. Косилов Н.И., Лапшин И.П. Обеспечение устойчивости движения решетных станков при модернизации зерноочистительных машин // Техника в сельском хозяйстве. 2003. № 6. С. 12–14.
  8. Кочкин М.Ю. Совершенствование процесса сепарации зернового материала в зерноочистительном агрегате: автореф. дис. ... канд. техн. наук: 05.20.01. Ростов-на-Дону, 2010. 19 с.
  9. Сaitov В.Е. Повышение эффективности функционирования зерноочистительных машин путем совершенствования их основных рабочих органов и пневмосистем с фракционной сепарацией: автореф. дис. ... д-ра техн. наук: 05.20.01. Чебоксары, 2014. 40 с.
  10. Фоминых А.В., Чумаков В.Г., Шевцов И.В. и др. Методика расчета процесса просеивания проходных частиц в круглые отверстия решет // Аграрный вестник Урала. 2010. № 7(73). С. 80–81.
  11. Фоминых А.В., Чумаков В.Г., Шевцов И.В. и др. Оптимизация процесса сепарирования на колосовых // Механизация и электрификация сельского хозяйства. 2011. № 9. С. 26–28.
  12. Харитонов М.К., Гиевский А.М., Оробинский В.И. и др. Повышение эффективности работы решетной очистки зерноочистительных машин // Вестник Воронежского государственного аграрного университета. 2020. Т.13, № 1(64). С. 19–27. DOI: 10.17238/issn2071-2243.2020.1.19.
  13. Badretdinov I., Mudarisov S., Tuktarov M., et al. Mathematical modeling of the grain material separation in the pneumatic system of the grain-cleaning machine // Journal of Applied Engineering Science. 2019. Vol. 17(4). P. 529–534. DOI: 10.5937/jaes17-22640.
  14. Butovchenko A., Doroshenko A., Kol'cov A., Serdyuk V. Comparative analysis of the functioning of sieve modules for grain cleaning machines // E3S Web Conferences: Innovative Technologies in Environmental Science and Education (ITESE-2019). Russia, Krasnodar Krai, Gelendzhik District, Divnomorskoe Village, Raduga Resort. 2019. Vol. 135. No. 01081. DOI: <https://doi.org/10.1051/e3sconf/201913501081>.
  15. Kharitonov M.K., Gievsky A.M., Orobinsky V.I., et al. Studying the design and operational parameters of the sieve module of the grain cleaning machine // IOP Conference Series: Earth and Environmental Science. Stavropol: IOP Publishing Ltd, 2020. Vol. 488. No. 012021. DOI: 10.1088/1755-1315/488/1/012021.
  16. Saitov V.E., Farafonov V.G., Saitov A.V. Experimental substantiation of the effective height of a grain falling by a stream of liquid in an ergot release device // IOP Conference Series: Earth and Environmental Science. Kurgan, 2019. Vol. 341. No. 012123. DOI: 10.1088/1755-1315/341/1/012123.

## References

1. Burkov A.I., Andreev V.L. Tekhnologiya ochistki semyan zernovykh kul'tur s fraktsionirovaniem na reshetakh i razdel'noj obrabotkoj vozdushnym potokom [Technology of grain crop seed purification with fractionation on sieves and separate air flow treatment]. *Nauchnye trudy VIM = VIM Scholarly works*. 2002;141:103-111. (In Russ.).
2. Gievskiy A.M., Gulevskiy V.A., Orobinskiy V.I. Puti povysheniya proizvoditel'nosti universal'nykh zernoochistitel'nykh mashin [Ways of increasing performance of universal grain cleaning machines]. *Vestnik federal'nogo gosudarstvennogo obrazovatel'nogo uchrezhdeniya vysshego professional'nogo obrazovaniya "Moskovskij gosudarstvennyj agroinzhenernyj universitet imeni V.P. Goryachkina" = Vestnik of Federal State Educational Institution of Higher Professional Education "Moscow State Agroengineering University named after V.P. Goryachkin"*. 2018;3(85):12-16. DOI: 10.26897/1728-7936-2018-3-12-16. (In Russ.).
3. Ermoliev Yu.I., Moskovskiy M.N., Shelkov M.V., et al. Fraktsionnye tekhnologii i tekhnicheskie sredstva dlya kachestvennoj seменной ochistki zerna [Fractional technologies and technical means for high-quality seed grain cleaning]. *Agromarket = Agromarket*. 2006;5:24-25. (In Russ.).
4. Ermoliev Yu.I., Shelkov M.V., Butovchenko A.V. Novye tekhnologii ochistki semyan na baze universal'nogo zernoochistitel'nogo agregata [New technologies of grain cleaning on the base of a versatile grain cleaning unit]. *Traktory i sel'skokhozyajstvennyye mashiny = Tractors and Agricultural Machinery*. 2007;9:14-15. (In Russ.).
5. Ermoliev Yu.I., Shelkov M.V., Butovchenko A.V. Sovremennyye tekhnologii i tekhnicheskie sredstva dlya ochistki seменного зерна [Modern technologies and technical means for seed grain cleaning]. *Sel'skokhozyaystvennyye mashiny i tekhnologii = Agricultural Machinery and Technologies*. 2012;3:29-32. (In Russ.).
6. Zyulin A.N., Drincha V.M., Yampilov S.S. Fraktsionnye tekhnologii ochistki semyan zernovykh [Fractional technologies of grain seed cleaning]. *Zemledelie = Arable Farming*. 1998;6:39. (In Russ.).
7. Kosilov N.I., Lapshin I.P. Obespechenie ustojchivosti dvizheniya reshetnykh stanov pri modernizatsii zernoochistitel'nykh mashin [Ensuring the stability of the movement of sieve mills during grain cleaning machines modernization]. *Tekhnika v sel'skom khozyaystve = Technology in Agriculture*. 2003;6:12-14. (In Russ.).
8. Kochkin M.Yu. Sovershenstvovanie protsessy separatsii zernovogo materiala v zernoochistitel'nom agregate [Improving the process of separation of grain material in a grain-cleaning unit]: avtoreferat dissertatsii ... kandidata tekhnicheskikh nauk = Author's Abstract of Candidate of Engineering Sciences: 05.20.01. Rostov-on-Don; 2010. 19 p. (In Russ.).



9. Saitov V.E. Povyshenie effektivnosti funkcionirovaniya zernoochistitel'nykh mashin putem sovershenstvovaniya ikh osnovnykh rabochikh organov i pnevmosistem s fraktsionnoj separatsiej [Improving efficiency of grain cleaning machines by upgrading their main working bodies and pneumatic systems of fractional separation]: avtoreferat dissertatsii ... doctora tekhnicheskikh nauk = Author's Abstract of Doctor of Engineering Sciences: 05.20.01. Cheboksary; 2014. 40 p. (In Russ.).

10. Fominykh A.V., Chumakov V.G., Shevtsov I.V., et al. Metodika rascheta protsessa proseivaniya prokhodovykh chastits v kruglye otverstiya reshet [The method of calculating the process of grain particles screening through round holes of sieves]. *Agrarnyj Vestnik Urals = Agrarian Bulletin of the Urals*. 2010;7(73):80-81. (In Russ.).

11. Fominykh A.V., Chumakov V.G., Shevtsov I.V., et al. Optimizatsiya protsessa separirovaniya na kolosovykh [Optimization of the separation process of spiked cereals] // *Mekhanizatsiya i elektrifikatsiya sel'skogo khhozyajstva = Mechanization and Electrification of Agriculture*. 2011;9:26-28. (In Russ.).

12. Kharitonov M.K., Gievsky A.M., Orobinsky V.I., et al. Povyshenie effektivnosti raboty reshetnoj ochistki zernoochistitel'nykh mashin [Improving the efficiency of screen-type separation in grain cleaning machines]. *Vestnik Voronezhskogo gosudarstvennogo agrarnogo universiteta = Vestnik of Voronezh State Agrarian University*. 2020;13(1):19-27. DOI: 10.17238/issn2071-2243.2020.1.19. (In Russ.).

13. Badretdinov I., Mudarisov S., Tuktarov M., et al. Mathematical modeling of the grain material separation in the pneumatic system of the grain-cleaning machine. *Journal of Applied Engineering Science*. 2019;17(4):529-534. DOI:10.5937/jaes17-22640.

14. Butovchenko A., Doroshenko A., Kol'cov A., Serdyuk V. Comparative analysis of the functioning of sieve modules for grain cleaning machines. *E3S Web Conferences: Innovative Technologies in Environmental Science and Education (ITESE-2019)*. Russia, Krasnodar Krai, Gelendzhik District, Divnomorskoe Village, Raduga Resort. 2019;135:01081. DOI: <https://doi.org/10.1051/e3sconf/201913501081>.

15. Kharitonov M.K., Gievsky A.M., Orobinsky V.I., et al. Studying the design and operational parameters of the sieve module of the grain cleaning machine. *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*. Stavropol: IOP Publishing Ltd. 2020;488:012021. DOI: 10.1088/1755-1315/488/1/012021.

16. Saitov V.E., Farafonov V.G., Saitov A.V. Experimental substantiation of the effective height of a grain falling by a stream of liquid in an ergot release device. *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*. Kurgan. 2019;341:012123. DOI: 10.1088/1755-1315/341/1/012123.

#### Информация об авторах

А.М. Гиевский – доктор технических наук, профессор кафедры сельскохозяйственных машин, тракторов и автомобилей ФГБОУ ВО «Воронежский государственный аграрный университет имени императора Петра I», [aleksej.gievskij@mail.ru](mailto:aleksej.gievskij@mail.ru).

В.И. Оробинский – доктор сельскохозяйственных наук, профессор, зав. кафедрой сельскохозяйственных машин, тракторов и автомобилей, декан агроинженерного факультета ФГБОУ ВО «Воронежский государственный аграрный университет имени императора Петра I», [main@agroeng.vsau.ru](mailto:main@agroeng.vsau.ru).

А.В. Чернышов – кандидат технических наук, доцент кафедры сельскохозяйственных машин, тракторов и автомобилей ФГБОУ ВО «Воронежский государственный аграрный университет имени императора Петра I», [lexa-c@yandex.ru](mailto:lexa-c@yandex.ru), <https://orcid.org/0000-0001-9302-9934>.

Н.М. Дерканосова – доктор технических наук, профессор, врио проректора по учебной работе, зав. кафедрой товароведения и экспертизы товаров ФГБОУ ВО «Воронежский государственный аграрный университет имени императора Петра I», [kommerce05@list.ru](mailto:kommerce05@list.ru).

М.К. Харитонов – аспирант кафедры сельскохозяйственных машин, тракторов и автомобилей ФГБОУ ВО «Воронежский государственный аграрный университет имени императора Петра I», [hari0007jntckbua@icloud.com](mailto:hari0007jntckbua@icloud.com).

#### Information about the authors

A.M. Gievsky, Doctor of Engineering Sciences, Professor, the Dept. of Agricultural Machinery, Tractors and Cars, Voronezh State Agrarian University named after Emperor Peter the Great, [aleksej.gievskij@mail.ru](mailto:aleksej.gievskij@mail.ru).

V.I. Orobinsky, Doctor of Agricultural Sciences, Professor, Head of the Dept. of Agricultural Machinery, Tractors and Cars, Dean of the Faculty of Rural Engineering, Voronezh State Agrarian University named after Emperor Peter the Great, [main@agroeng.vsau.ru](mailto:main@agroeng.vsau.ru).

A.V. Chernyshov, Candidate of Engineering Sciences, Docent, the Dept. of Agricultural Machinery, Tractors and Cars, Voronezh State Agrarian University named after Emperor Peter the Great, [lexa-c@yandex.ru](mailto:lexa-c@yandex.ru), <https://orcid.org/0000-0001-9302-9934>.

N.M. Derkanosova, Doctor of Engineering Sciences, Professor, Acting Pro-Rector for Academic Affairs, Head of the Dept. of Merchandizing and Expert Examination of Goods, Voronezh State Agrarian University named after Emperor Peter the Great, [kommerce05@list.ru](mailto:kommerce05@list.ru).

M.K. Kharitonov, Postgraduate Student, the Dept. of Agricultural Machinery, Tractors and Cars, Voronezh State Agrarian University named after Emperor Peter the Great, [hari0007jntckbua@icloud.com](mailto:hari0007jntckbua@icloud.com).

Статья поступила в редакцию 11.11.2021; одобрена после рецензирования 24.12.2021; принята к публикации 20.01.2022.

The article was submitted 11.11.2021; approved after revision 24.12.2021; accepted for publication 20.01.2022.

© Гиевский А.М., Чернышов А.В., Харитонов М.К., 2022