

*Mezhdunarodnyy tekhniko-ekonomicheskij zhurnal*, 2015, No. 4. Pp. 36-40. (in Rus.)

8. Rosell Polo J.R., Sanz R., Llorens J., Arnó J., Escolà A., Ribes-Dasi M., Masip J. Camp F., Gràcia F., Solanelles F., Pallejà T., Val L., Planas S., Gil E., Palacín J. A tractor-mounted scanning LIDAR for the non-destructive measurement of vegetative volume and surface area of tree-row plantations: a comparison with conventional destructive measurements. *Biosystems Engineering*. 2009. 102 (2), 128-134. DOI: 10.1016/j.biosystemseng.2008.10.009.

9. Ehrsashev A. Intensity and dynamics of formation of the products of photosynthesis by Jerusalem artichoke. *Fiziol. i biokhim. kul'turnykh rastenij*. 8. 1976. Pp. 299-303.

10. Zubr J. Jerusalem artichoke as a field crop in northern Europe, in Topinambour (Jerusalem Artichoke). Report EUR11855, Grassi, G. and Gosse, G., Eds., Commission of the European Communities. Luxembourg. 1988a. Pp. 105-117.

11. Zubr J. Performance of different Jerusalem artichoke cultivars in Denmark (1982-1984),

in Topinambour (Jerusalem Artichoke). Report EUR13405, Gosse, G. and Grassi, G. Eds., Commission of the European Communities. Luxembourg, 1991. Pp. 43-51.

12. Lloyd N.D.H., Canvin D.T. Photosynthesis and photorespiration in sunflower selections. *Can. J. Bot.* 2011. 55(24):3006-3012. DOI: 10.1139/b77-338.

13. Dospekhov B.A. Metodika polevogo opyta (s osnovami statisticheskoy obrabotki rezultatov issledovaniy) [Methodology of field experience (with the basics of statistical processing of research results)]. 5<sup>th</sup> ed., extended and reviewed. Moscow, Agropromizdat. 1985. 351 p. (in Rus.)

14. Metod izucheniya vliyaniya usloviy khraneniya na lezhkosposobnost morkovi i kartofelya: Metodicheskie ukazaniya [Method of studying the influence of storage conditions on the storage properties of carrots and potatoes: Methodological guidelines]. L., VIZR, 1981. 13 p. (in Rus.)

*The paper was received on January 16, 2018*

УДК 631.362.36

DOI 10.26897/1728-7936-2018-3-12-16

**ГИЕВСКИЙ АЛЕКСЕЙ МИХАЙЛОВИЧ**, докт. техн. наук, профессор

E-mail: aleksej.gievskij@mail.ru

**ГУЛЕВСКИЙ ВЯЧЕСЛАВ АНАТОЛЬЕВИЧ**, докт. техн. наук, профессор

E-mail: gulevsky\_va@inbox.ru

**ОРОБИНСКИЙ ВЛАДИМИР ИВАНОВИЧ**, докт. с.-х. наук, профессор

E-mail: main@agroeng.vsau.ru

Воронежский государственный аграрный университет имени императора Петра I; 394087, ул. Мичурина, 1, Воронеж, Российская Федерация

## ПУТИ ПОВЫШЕНИЯ ПРОИЗВОДИТЕЛЬНОСТИ УНИВЕРСАЛЬНЫХ ЗЕРНООЧИСТИТЕЛЬНЫХ МАШИН

На основе положений теории вероятности показаны возможные пути повышения производительности универсальных воздушно-решетных сепараторов, реализующих принцип разделения обрабатываемого вороха на фракции. В качестве основных признаков при фракционировании выбраны различия компонентов вороха в аэродинамических свойствах и размерных характеристиках. Эти признаки реализуются при разделении воздушным потоком и на плоских решетках. Выбранные признаки фракционирования заложены в работу воздушно-решетных сепараторов, которые являются основными машинами современных поточных линий. Для определения роли каждого рабочего органа в процессе разделения вороха на основную и фуражную фракции зерновой ворох условно делили на классы. Классы вороха, относящиеся к фуражной фракции, образовывали в зависимости от скорости витания частиц и их толщины. Образованные классы с учетом скорости воздуха в каналах и ширины отверстий решет могут выделяться только одним рабочим органом или двумя и более. Используя основные положения теории вероятности, определили вероятности выделения составляющих отдельно каждого класса и всего вороха в целом в фуражную фракцию. Определены классы, для которых наблюдается меньшая вероятность выделения. Это класс с частицами, имеющими толщину больше ширины отверстий подсеянных решет, и класс, имеющий скорость витания больше скорости воздуха в канале дорешетной очистки. Составляющие этих классов будут выделяться только сортировальным реше-

том и каналом послерешетной очистки. Установлены возможные пути повышения вероятности выделения для этих классов и увеличивающие производительность почти в два раза при общей полноте выделения фуражных фракций не менее 60%.

**Ключевые слова:** фракционирование, аэродинамические свойства, толщина зерновок, сортировальные решета, универсальная зерноочистительная машина.

**Введение.** Получить высококачественное товарное зерно и семена невозможно без незамедлительной послеуборочной обработки поступающего с поля вороха, с его разделением на фракции в зависимости от целевого назначения. Такое разделение возможно с применением высокопроизводительных двухаспирационных пневморешетных сепараторов, реализующих фракционную очистку. Основы такой технологии впервые были обоснованы Н.Н. Ульрихом [1]. Успешная реализация фракционной технологии при высокой производительности требует выбора и обоснования основных признаков очистки при фракционировании [2-9]. При выборе признаков фракционирования должны учитываться принципы универсальности создаваемых машин и соответствия производительности рабочих органов, реализующих эти признаки, друг другу [10].

**Методы исследований.** Для возможности применения основ теории вероятностей зерновой ворох рассматривали как систему двух случайных величин, включающих распределение размеров по толщине и скорости витания. Распределение частиц отдельно по каждому признаку считали подчиняющимся нормальному закону распределения. Взаимосвязь между выбранными признаками оценивали коэффициентом корреляции. На основе полученного значения коэффициента корреляции сделан вывод о невозможности разделения зерна на фракции только по одному признаку.

Для определения роли каждого рабочего органа в процессе разделения вороха на основную и фуражную фракции зерновой ворох условно делили на классы. Классы вороха, относящиеся к фуражной фракции, образовывали в зависимости от скорости витания компонентов и их толщины. Частицы этих классов с учетом скорости воздуха в каналах и ширины отверстий решет могут выделяться только одним рабочим органом или двумя и более.

Теоретическую вероятность разделения компонентов вороха на фракции определяли по каждому классу отдельно с учетом вероятностей их содержания и полноты разделения рабочими органами. Качество разделения на фракции оценивали расчетом общепринятых числовых характеристик распределения частиц основной фракции после очистки [10, 11].

Для подтверждения теоретических предпосылок проведены экспериментальные исследования на лабораторной установке на ворохе озимой пшеницы. Установка оборудована двухаспирационной пневмосистемой с забором наружного воздуха вертикальным каналом послерешетной очистки и его

последовательным прохождением через осадочную камеру канала, горизонтальный канал дорешетной очистки и его осадочную камеру, пылеотделитель и вентилятор. В длину и высоту установка имела истинные размеры, а ее ширина составляла 0,3 м. Решетный стан оборудован отдельными ярусами колосовых и сортировальных решет с максимальной установкой трех решет в длину каждого яруса. В отдельные сборники выводили сход с колосовых решет, проход каждого сортировального и подсевного решет. На установке можно было изменять количество решет в ярусах и их рабочую длину. Соотношение площади колосовых, сортировальных и подсевных решет в процентах составляло 33:33:33. Путем изменения схемы размещения и замены подсевных решет на сортировальные соотношение колосовых и сортировальных решет достигало 20:80. Между осадочной камерой канала послерешетной очистки и каналом дорешетной очистки выполнено регулируемое воздухозаборное окно для забора наружного воздуха только этим каналом. Высота канала дорешетной очистки регулировалась путем плоскопараллельного перемещения нижней стенки. Скорость воздуха в пневмосепарирующем канале послерешетной очистки регулировали изменением оборотов колеса вентилятора частотным преобразователем, а в канале дорешетной очистки – открытием воздухозаборного окна и сечением самого канала [10]. Экспериментальные исследования проводили на ворохе озимой пшеницы со средней толщиной 2,616 мм, средней скоростью витания 8,885 м/с; среднеквадратическими отклонениями: толщины – 0,345 мм; скорости витания – 1,03 м/с.

**Результаты и обсуждение.** В результате расчета теоретической вероятности разделения вороха на фракции по классам были выявлены классы с ее минимальными значениями. К таким классам относится класс с частицами, выделяющимися только сортировальными решетками:

$$P(b_n \leq b_i < b_c; V_j > V_n) = P\{b_n \leq b_i < b_c; V_j > V_n\} \cdot P_{bc}, \quad (1)$$

где  $P_{bc}$  – вероятность выделения сортировальными решетками.

Частицы этого класса имеют толщину, расположенную между шириной отверстий подсевных и сортировальных решет, а скорость витания, большую скорости воздуха в канале послерешетной аспирации. Второй класс – это класс, куда входят частицы с толщиной больше ширины отверстий сортировальных решет, а скоростью витания, рас-

положенной между скоростями воздуха в каналах дорешетной и послерешетной аспираций:

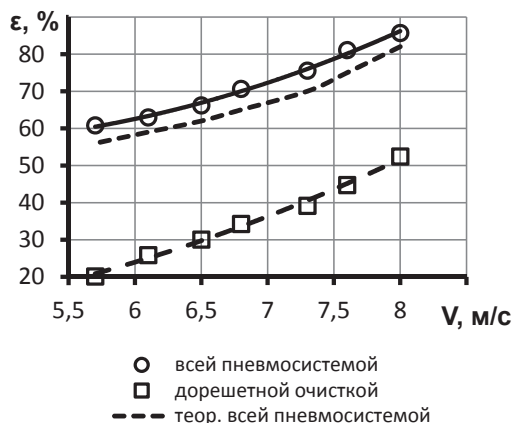
$$P(V_d \leq V_j < V_n; b_i > b_c) = P\{V_d \leq V_j < V_n; b_i > b_c\} \cdot P_{V_n}, \quad (2)$$

где  $P_{V_n}$  – вероятность выделения каналом послерешетной очистки.

Частицы, входящие в этот класс, могут выделяться только каналом послерешетной аспирации. Вероятности выделения для рабочих органов фактически являются полнотой разделения, которая зависит от подачи вороха и удельной нагрузки.

Снизить нагрузку на эти рабочие органы можно, повысив скорость воздуха в дорешетной аспирации для выделения частиц вороха, которые выделяются только послерешетной аспирацией и увеличением площади сортировальных решет за счет исключения из станов подсеивных решет [10].

На рисунке 1 приведены экспериментальная и теоретическая зависимости влияния скорости воздуха в канале дорешетной очистки на полноту выделения вороха в фуражную фракцию по аэродинамическим свойствам при доле сортировальных решет 33%.



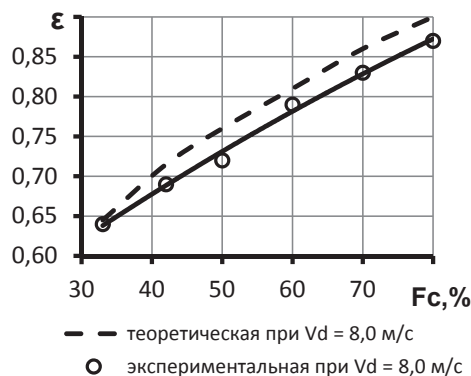
**Рис. 1. Зависимость полноты выделения от скорости воздушного потока в канале дорешетной очистки**

Как следует из рисунка, с повышением скорости воздуха в канале дорешетной очистки с 5,7 до 8,0 м/с полнота выделения увеличивается с 20 до 52%, или более чем в два раза. При этом в осадочную камеру кроме легковесных незерновых компонентов выделяется часть неполноценного, мелко-го и дробленого зерна основной культуры и засорителей. Эти частицы вороха выделялись раньше только каналом послерешетной очистки и направлялись в фуражную фракцию. Поэтому осадочная камера канала дорешетной очистки была разделена на секции: для осаждения полноценного зерна основной фракции с подачей на решетный стан; для осаждения фуражной фракции и выноса в пылеотделитель легковесных незерновых компонентов. Общая полнота разделения возрастает с 60 до 85%.

Экспериментальные данные превышают расчетные на 5...8%, что объясняется принятым допущением при определении теоретической вероятности. Вероятность выделения для всех частиц вороха принималась одинаковой, если скорость воздуха в канале больше критической скорости витания частицы.

Удельная подача вороха на очистку выбиралась исходя из возможности 60% полноты разделения сортировальными решетками при их относительной площади в общей площади решет стана 33%.

Повышение относительной площади сортировальных решет в стане до 50%, при скорости воздуха в канале дорешетной очистки 8 м/с, увеличивает общую полноту разделения на фракции до 73% (рис. 2).



**Рис. 2. Зависимость полноты разделения на основную и фуражную фракции от доли сортировальных решет в стане**

При относительной площади сортировальных решет в стане свыше 60% полнота разделения вороха на основную и фуражную фракции достигает 80% и более. Такая полнота разделения достаточна для подготовки семян. Теоретическая полнота разделения превышает экспериментальные данные на 3...5%, что подтверждает правомочность выдвинутой гипотезы.

На основании полученных результатов сделано предположение о возможности повышения производительности машин в 1,6...2,0 раза за счет увеличения относительной площади сортировальных решет в станах до 70...75% и перевода режима работы канала дорешетной очистки в режим, близкий к режиму работы послерешетной очистки при отсутствии значительного ухудшения качественных показателей основной фракции.

Для оценки качества основной фракции после очистки пользовались общепринятыми показателями, которые характеризуют выравненность зерновок: средними значениями и среднеквадратическими отклонениями толщены и скорости витания.

Повышение подачи (производительности) в экспериментах ограничивалось уменьшением полноты разделения на фракции менее 60%.

При режиме работы канала дорешетной очистки, близком к режиму работы канала послерешет-

ной очистки или скорости воздушного потока в нем 7,9...8,0 м/с, и увеличении относительной площади сортировальных решет в станах до 70...75% повышение относительной производительности в 1,6...2,0 раза практически не вызывает ухудшения качественных показателей компонентов вороха основной фракции. Средняя толщина зерновок уменьшается на 2,1...3,0%, среднеквадратическое отклонение толщины возрастает на 3,9%, а скорость витания компонентов вороха основной фракции снижается на 0,03...0,06% при росте среднеквадратического отклонения скорости витания на 0,5...1,7%.

Снижение вероятности выделения соответствующих компонентов каждым каналом в отдельности компенсируется возможностью их выделения и в одном, и в другом канале.

### Выводы

Повышение производительности универсальных воздушно-решетных зерноочистительных машин, работающих по фракционной технологии, в 1,6...2,0 раза при товарной очистке зерна возможно за счет увеличения доли сортировальных решет путем исключения подсеянных решет из станов и одновременного изменения режима работы канала дорешетной очистки до режима, близкого к режиму работы канала послерешетной очистки. При скорости воздуха в канале дорешетной очистки 7,9...8,0 м/с существенного ухудшения выравненности зерновок основной фракции после очистки на товарные цели не наблюдается.

### Библиографический список

1. Ульрих Н.Н. У истоков механизации предпосевной подготовки семян и послеуборочной обра-

ботки зерна // Механизация и электрификация сельского хозяйства. 1980. № 4. С. 19-21.

2. Ермольев Ю.И., Шелков М.В., Московский М.Н. Фракционные технологии семенной очистки зерна // Тракторы и сельхозмашины. 2005. № 6. С. 23-25.

3. Еров Ю.В. [и др.]. Инновации в послеуборочной обработке зерна и семян. Казань: Слово, 2009. 128 с.

4. Косилов Н.И., Фоминых А.В. Фракционные технологии для сепарирования зернового вороха: Монография. Куртамыш: Куртамышская типография, 2006. 153 с.

5. Оробинский В.И., Гиевский А.М. Теоретические предпосылки получения полноценного зерна фракционной технологией послеуборочной обработки // Механизация и электрификация сельского хозяйства. 2008. № 5. С. 8-10.

6. Сычугов Ю.В. Новые технологии и технические средства послеуборочной обработки зерна // Тракторы и сельхозмашины. 2004. № 6. С. 22-25.

7. Тарасенко А.П. [и др.] Фракционирование зернового вороха на решетках // Сельскохозяйственные машины и технологии. 2012. № 5. С. 26-29.

8. Ермольев Ю.И. [и др.] Фракционные технологии и технические средства для качественной семенной очистки зерна // Агро-Маркет. 2006. № 5. С. 24-25.

9. Saitov V.E., Kurbanov R.F., Suvorov A.N. Assessing the Adequacy of Mathematical Models of Light Impurity Fractionation in Sedimentary Chambers of Grain Cleaning Machines // 2nd International Conference on Industrial Engineering (Icie-2016). 2016. T. 150. С. 107-110.

10. Гиевский А.М. Повышение эффективности работы универсальных воздушно-решетных зерноочистительных машин: Дис. ... докт. техн. наук: 05.20.01. Воронеж: ФГБНУ ВО Воронежский ГАУ, 2016. 346 с.

Статья поступила 25.04.2018

## WAYS OF INCREASING PERFORMANCE OF UNIVERSAL GRAIN CLEANING MACHINES

**ALEKSEI M. GIYEVSKIY, DSc (Eng), Professor**

E-mail: aleksej.gievskij@mail.ru

**VYACHESLAV A. GULEVSKIY, DSc (Eng), Professor**

E-mail: gulevsky\_va@inbox.ru

**VLADIMIR I. OROBINSKIY, DSc (Ag), Professor**

E-mail: main@agroeng.vsau.ru

Voronezh State Agrarian University named after Emperor Peter the Great; 394087, Michurina Str., 1, Voronezh, Russian Federation

Basing on the main provisions of the theory of probability, the authors present some possible ways of doubling the productivity the universal air-grating separators by the implementation of the principle of dividing a processed heap into fractions. The authors take account of the difference in heap components in aerodynamic prop-

erties and dimensional characteristics as the main features to be observed in fractionation. These characteristics are implemented in the process of separation by an air flow on flat sieves. The selected features of fractionation are incorporated in the work of air-screen separators, which are the main machines of modern production lines. To determine the role of each working unit in the process of heap dividing into the main and forage fractions, the heap is conventionally divided into classes. The heap classes belonging to the forage fraction have been formed depending on the velocity of particle waving and their thickness. The formed classes can be separated with one working unit only, or two and more, taking account of the air velocity in the channels and the width of the sieve holes. Using the basic assumptions of probability theory, the authors have determined the probability of separating the individual components of each class and that of the entire heap as a whole into a forage fraction. They have also determined classes, for which there is less probability of separation. This is a class with particles having a thickness greater than the width of the holes in the sieve grids and a class having a winding speed greater than the air velocity in the pre-cleaning channel. The components of these classes will be separated only with the sorting grid and the post-screen cleaning channel. The possible ways of increasing the separation probability for these classes have been established, which increase the productivity by almost two times with a total amount of forage fraction separation of at least 60%.

**Key words:** fractionation, aerodynamic properties, grain thickness, sorting sieves, universal grain cleaning machine.

### References

1. Ul'rikh N.N. U istokov mekhanizatsii predposvnoy podgotovki semyan i posleuborochnoy obrabotki zerna [The origins of mechanization of presowing seed preparation and post-harvest grain processing]. *Mekhanizatsiya i elektrifikatsiya sel'skogo khozyaystva*, 1980. No. 4. Pp. 19-21. (in Rus.)
2. Yermol'yev Yu.I., Shelkov M.V., Moskovskiy M.N. Fraktsionnyye tekhnologii semennoy ochistki zerna [Fractional technologies of grain seed cleaning]. *Traktory i sel'khoz mashiny*, 2005. No. 6. Pp. 23-25. (in Rus.)
3. Yerov Yu.V. [et al.]. Innovatsii v posleuborochnoy obrabotke zerna i semyan [Innovations in post-harvest processing of grain and seeds]. Kazan', "Slovo", 2009. 128 p. (in Rus.)
4. Kosilov N.I., Fominykh A.V. Fraktsionnyye tekhnologii dlya separirovaniya zernovogo vorokha [Fractional technologies for the separation of grain heaps]: Monograph. Kurtamysh, Kurtamyshskaya tipografiya, 2006. 153 p. (in Rus.)
5. Orobinskiy V.I., Giyevskiy A.M. Teoreticheskiye predposylki polucheniya polnotsennogo zerna fraktsionnoy tekhnologiyey posleuborochnoy obrabotki [Theoretical prerequisites for obtaining high-grade grain by fractional technology of post-harvest processing]. *Mekhanizatsiya i elektrifikatsiya sel'skogo khozyaystva*, 2008. № 5. Pp. 8-10. (in Rus.)
6. Sychugov Yu.V. Novyye tekhnologii i tekhnicheskiye sredstva posleuborochnoy obrabotki zerna [New technologies and technical means of post-harvest grain processing]. *Traktory i sel'khoz mashiny*, 2004. No. 6. Pp. 22-25. (in Rus.)
7. Tarasenko A.P. [et al.] Fraktsionirovaniye zernovogo vorokha na reshetakh [Sieve fractionation of grain heaps]. *Sel'skokhozyaystvennyye mashiny i tekhnologii*, 2012. No. 5. Pp. 26-29. (in Rus.)
8. Yermol'yev Yu.I. [et al.] Fraktsionnyye tekhnologii i tekhnicheskiye sredstva dlya kachestvennoy semennoy ochistki zerna [Fractional technologies and technical means for qualitative seed grain cleaning]. *Agro-Market*, 2006. No. 5. Pp. 24-25. (in Rus.)
9. Saitov V.E., Kurbanov R.F., Suvorov A.N. Assessing the Adequacy of Mathematical Models of Light Impurity Fractionation in Sedimentary Chambers of Grain Cleaning Machines. *2nd International Conference on Industrial Engineering (Icie-2016)*, 2016. Vol. 150. Pp. 107-110.
10. Giyevskiy A.M. Povysheniye effektivnosti raboty universal'nykh vozdušno-reshetnykh zernoochistitel'nykh mashin [Increasing the performance efficiency of universal air-grating grain-cleaning machines: DSc (Eng) thesis: 05.20.01. Voronezh, FGBNU VO Voronezh GAU, 2016. 346 p. (in Rus.)

*The paper was received on April 25, 2018*