

## **ВОЗМОЖНОСТИ ПРИМЕНЕНИЯ МАШИННОГО ЗРЕНИЯ ДЛЯ ПОВЫШЕНИЯ ЭФФЕКТИВНОСТИ ФУНКЦИОНИРОВАНИЯ ЗЕРНООЧИСТИТЕЛЬНОЙ МАШИНЫ**

**Бутовченко А.В., Кравченко Л.В., Кольцов А.Ф., Парасюк Я.В.**

Донской государственный технический университет, г. Ростов-на-Дону, Российская Федерация

**Аннотация.** В статье приведено обоснование использования систем машинного зрения на зерноочистительных машинах. В работе приведены зависимости чистоты зернового материала, содержание сорных и зерновых примесей, потери зернового материала относительно подачи в кг/с. Кроме этого, в статье приведён обзор наиболее используемых систем детектирования объёмных объектов, построены гистограммы наиболее значимых характеристик рассматриваемых систем.

**Ключевые слова.** Зерноочистительная машина, система детектирования объёмных объектов, зерновой материал, решётный модуль, машинное зрение.

## **POSSIBILITIES OF APPLYING MACHINE VISION TO INCREASE EFFICIENCY OF FUNCTIONING OF A GRAIN-CLEANING MACHINE**

**Butovchenko A.V., Kravchenko L.V., Koltsov A.F., Parasyuk Y.V.**

Don State Technical University, Rostov-on-Don, Russian Federation

**Abstract.** The article provides a rationale for the use of machine vision systems on grain cleaning machines. The paper presents the dependence of the purity of the grain material, the content of weed and grain impurities, the loss of grain material relative to the feed in kg / s. In addition, the article provides an overview of the most used systems for detecting volumetric objects, and histograms of the most significant characteristics of the systems under consideration are constructed.

**Keywords.** Grain cleaning machine, volumetric object detection system, grain material, sieve module, machine vision.

Существующие зерноочистительные агрегаты включают в своём составе машины позволяющие выделять из исходного зернового вороха примеси отличающиеся от основной культуры по различным признакам. В зависимости от планируемых культур, засорителей присущих данному региону, требования к чистоте конечного продукта, необходимой производительности и стоимости оборудования производится проектная компоновка поточной линии по очистке зернового материала. В большинстве случаев монтаж производится на строительной базе агрегатов типа ЗАВ, имеющих различную схему расположения бункеров. Полученные при таком подходе линии способны функционировать, в большинстве случаев, в режимах предварительной и первичной очисток, в меньшем числе в режимах семенной очистки. Ограничением является более высокие требования к чистоте семенного материала которые без наличия специализированных машин типа триерный блок и пневмосортировальный стол не всегда можно достигнуть.

Большинство машин имеют ручные регулировки и настройка их на оптимальный режим производится в ручную «на глаз», при этом, при постоянно меняющемся поступающем с поля исходном зерновом материале необходима корректировка параметров работы машин, для достижения заданных требований оператор умышленно занижает подачу зернового материала в зерноочистительный агрегат, что приводит к существенному увеличению времени обработки, а в ряде случаев к применению перевалочной технологии, когда зерновой материал складывается на току, а потом очищается в агрегате. Применение перевалочной технологии связано с дополнительными издержками, а также со снижением качества зернового материала за счёт повышения микро и макро повреждений в следствии применения дополнительных операций.

При настройке агрегата на заданную производительность при соблюдении агротребований к технологическому процессу наиболее остро стоит вопрос потерь при очистке. Потери возникают в результате попадания зерна основной культуры во фракцию отходы. Это может происходить, например, при неправильной настройке скорости воздушного потока в пневмоканале, когда вместе с засорителями в отстойную камеру выносятся и зерна основной культуры, при неправильной настройке решётного модуля, когда при сходе с решета вместе с крупными примесями сходит основная культура

Используя известные математические модели [1] проведём моделирование работы решётных модулей зерноочистительной машины, имеющей в своём составе компоновку решёт (см. рисунок 1). Данная компоновка решёт встречается у зерноочистительных машин различных марок, например: ОЗС-50/25/10, МВР-6, СВУ-60. Поступающий в машину зерновой материал делится на четыре части, каждая из которых поступает на решётный стан работающий параллельно с другими. На первом решете решётного стана происходит выделение мелкого сора, на втором решете зерновых примесей, на третьем сходом идёт выделение крупных примесей, в проход под третье решето выделяется чистое зерно.

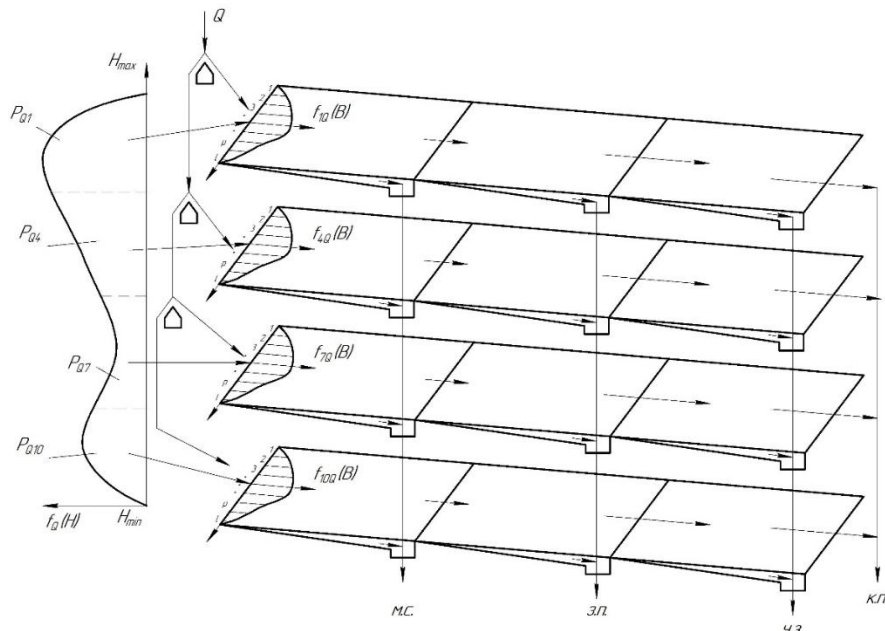
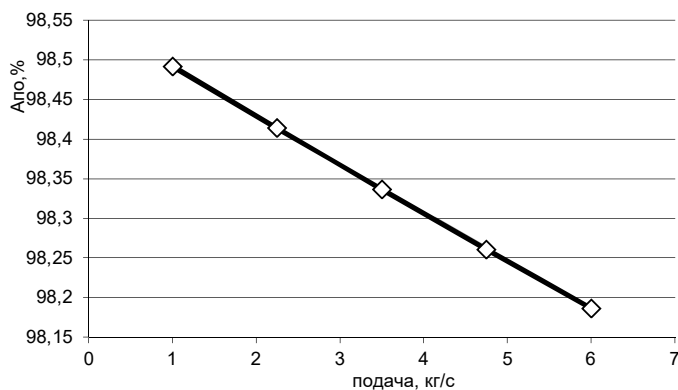
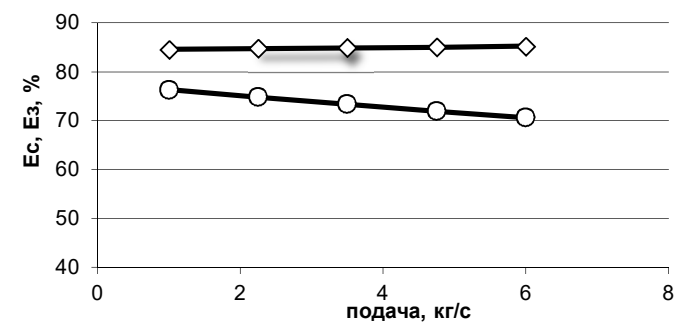


Рисунок 1 - Перемещение зернового материала по решёткам зерноочистительной машины.

При моделировании состав исходного зернового вороха примем: содержание зерна основной культуры 93,66%, соломистых примесей 0,15%, крупных примесей 0,51%, шуплое зерно 4,25%, мелкие сорные примеси 0,31%, дроблёное зерно 1%, семена сорняков 0,12%, влажность 16%.

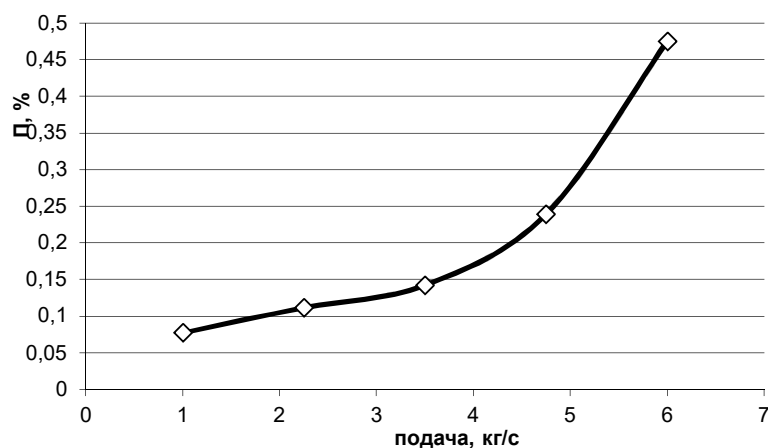


а)



◆ Полнота выделения сорных примесей  
○ Полнота выделения зерновых примесей

б)



в)

Рисунок 2 – Результаты сепарации в зависимости от подачи  
 а) чистота зернового материала, б) содержание сорных и зерновых примесей, в) потери зернового материала.

Анализ полученных результатов позволяет сделать вывод, что для данного количества засорителей и данной схемы решётных модулей прогнозная производительность составит 6 кг/с. При повышении подачи идёт резкий рост потерь за счёт схода зернового материала с третьего решета решётного модуля.

Однако в реальном случае свойства исходного зернового материала будут варьироваться: изменяться влажность, процент и свойства засорителей, что в свою очередь будет как снижать так и повышать потенциальную производительность зерноочистительной машины имеющей данную компоновку решёт.

Работа сходового решета имеет следующую картину (см. рисунок 3), когда в проход идёт основная культура, а сходом идут крупные примеси (колоски, минеральные примеси, соломины, растительные остатки и др.). При этом решето загружено не полностью. Данная проблема обуславливает необходимость технического решения для максимальной загрузки решета для повышения производительности решётного модуля и всей системы в целом.

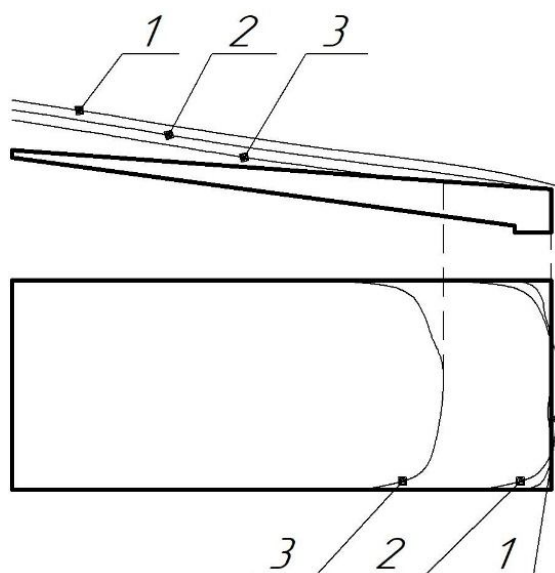


Рисунок 3 – Различные случаи загрузки решета, выделяющего крупные примеси  
 1 – случай избыточной подачи; 2 – случай близкий к идеальному; 3 – случай близкий к реальному

Одним из возможных решений данной проблемы является возможность использования визуального распознавания наличия компонентов на решете при помощи машинного зрения с использованием видеочамер и алгоритмов обработки полученного изображения. Существующие системы для детектирования объёмных объектов, подходящие для решения нашей задачи, имеют характеристики, представленные в таблице 1.

Таблица 1 - Сравнительные характеристики систем детектирования объёмных объектов

Наименование	Камера Intel SR300	Lidar Alpha Puck	Lidar Luminar	Lidar VLP-16
Дальность**	0,2–1,2 м в помещениях, без прямого солнечного света	до 120 м	до 1000 м	до 120 м
Камера глубины **	в наличии	в наличии	в наличии	в наличии
Интерфейс для подключения к системной плате	USB 3.0	SPI	SPI	SPI
Размеры комплекта разработчика**	110 x 12,6 x 3,8–4,1 мм	165 x 165 x 141,3 мм	170 x 170 x 145 мм	103 x 103 x 71,7 мм
Вес**	370 г	3,5 кг	4 кг	830 г
Требуемая ОС	64-разрядная версия Microsoft Windows* 10 RTM	64-разрядная версия Microsoft Windows* 10 RTM	64-разрядная версия Microsoft Windows* 10 RTM	64-разрядная версия Microsoft Windows* 10 RTM
Мощность	15 Вт	50 Вт	70 Вт	8 Вт
Угол захвата	60°	360°	360°	360°
Язык	C++, C#, Visual Basic*, Java*, JavaScript*, Python	Python, C#	C++, C#	Python, C#
Стоимость	10 т.р.	400 т.р.	75 т.р.	325 т.р.

На основании данных таблицы 1 построим гистограммы различных систем детектирования в зависимости от различных характеристик.

На рисунке 4 представлена гистограмма стоимости в зависимости от систем детектирования объёмных объектов.



Рисунок 4 – Зависимость стоимости систем детектирования от различных систем  
1 - Intel SR300, 2 - Lidar Alpha Puck, 3 – Lidar Luminar, 4 – Lidar VLP-16

На рисунке 5 представлена гистограмма максимальной дальности действия работы в зависимости от систем детектирования объёмных объектов.



Рисунок 5 - Максимальной дальности действия работы системы  
1 - Intel SR300, 2 - Lidar Alpha Puck, 3 – Lidar Luminar, 4 – Lidar VLP-16

На рисунке 6 представлена гистограмма мощности потребления в зависимости от систем детектирования объёмных объектов.

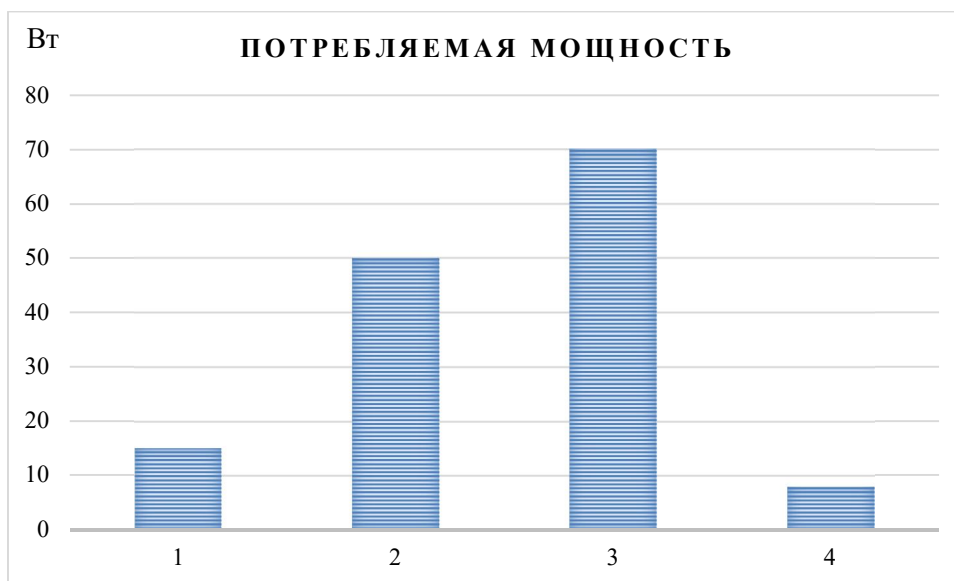


Рисунок 6 – Потребляемая мощность  
1 - Intel SR300, 2 - Lidar Alpha Puck, 3 – Lidar Luminar, 4 – Lidar VLP-16

Критерием при выборе системы детектирования объёмных объектов является её дальность, стоимость, возможность программирования на различных языках (по возможности с открытым исходным кодом), потребляемая мощность, габариты, вес, возможность построения карты глубины, что является самой важной функцией при детектировании объектов.

Согласно построенным гистограммам с учётом всех выше перечисленных критериев, наиболее оптимальной системой детектирования является камера Intel SR300.

Данные, получаемые с камеры будут обрабатываться в специализированном программном обеспечении на персональном компьютере, после чего передаваться на устройство «принятия решений», в нашем случае таким будет являться микроконтроллер. Сигнал с микроконтроллера будет передаваться на драйвер двигателя, а после на исполняемое устройство (двигатель), вал которого связан с заслонкой, отвечающей за поступление материала в зерноочистительную машину, что позволит в автоматическом режиме повысить загрузку агрегата.

### **Список использованных источников**

1. Y Lachuga, A Soloviev, A Matrosov, I Panfilov, V Pakhomov and D Rudoy Analytical model of ear dynamics and conditions for efficient grain extraction// IOP Conf. Ser.: Earth Environ. Sci. 2019 403 012055 <https://doi.org/10.1088/1755-1315/403/1/012055>
2. T.Huang, B. Li, D. Shen, J. Cao, B. Mao Analysis of the grain loss in harvest based on logistic regression// 5th International Conference on Information Technology and Quantitative Management, ITQM 2017; New Delhi; India; 8 December 2017 до 10 December 2017 <https://doi.org/10.1016/j.procs.2017.11.426>
3. R. Horaud, M. Hansard, G.Evangelidis, C. M nier, An overview of depth cameras and range scanners based on time-of-flight technologies// Machine Vision and Applications Volume 27, Issue 7, 1 October 2016 <https://doi.org/10.1007/s00138-016-0784-4>