

## ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОЕ ИССЛЕДОВАНИЕ СКОРОСТИ ВОЗДУШНОГО ПОТОКА И ЧАСТОТЫ КОЛЕБАНИЙ СЕТЧАТОЙ ДЕКИ ВИБРОПНЕВМАТИЧЕСКОГО ОБОРУДОВАНИЯ

### Аннотация

В статье рассмотрены вопросы, связанные с экспериментальным исследованием зависимости коэффициента разделения и производительности от скорости воздушного потока и частоты колебаний сетчатой деки оборудования вибропневматического принципа действия. Приводится описание разработанного лабораторного стенда для изучения процесса самосортирования сыпучих компонентов в псевдоожиженном слое. На основании экспериментальных исследований установлены параметры скорости воздушного потока и частоты колебаний сетчатой деки разработанного сепаратора вибропневматического принципа действия с рециркуляцией воздушного потока, обеспечивающие максимально эффективное разделение компонентов зерновой массы на фракции, отличающиеся между собой удельной плотностью в пределах 10-15%.

**Ключевые слова:** сетчатая дека, скорость воздушного потока, вибропневматический сепаратор, коэффициент разделения, удельная плотность, частота колебаний.

### Введение

Технологический процесс сепарирования зерновой массы на вибропневматическом сепараторе протекает на вибрирующей шероховатой поверхности – деке, которая продувается восходящим воздушным потоком. Эффективность выделения примесей, отличающихся удельной плотностью, и четкое сортирование основного (полноценного) компонента зависит не только от конструктивных особенностей оборудования, но и во многом определяется режимными параметрами работы данных машин. Наряду с направлением и значением колебаний сетчатой деки существенное влияние на процесс оказывает скорость воздушного потока, проходящая через обрабатываемый зерновой слой. Поэтому определение рациональных значений скорости воздушного потока в рабочей камере и частоты колебаний сетчатой деки вибропневмосепаратора является актуальной научно-практической задачей в контексте общего совершенствования работы данного оборудования.

### Материалы и методы

При проведении экспериментальных исследований скорости воздушного потока и частоты колебаний сетчатой деки разработанного сепаратора вибропневматического принципа действия определялись такие показатели как коэффициент разделения  $K_p$  и производительность  $Q$  сепаратора.

Для проведения экспериментальных исследований процесса вибропневмосепарирования зерновой массы изготовлен экспериментальный стенд, с помощью которого можно проводить исследования процессов разделения зерновой массы по удельной плотности под действием вибрации и восходящих потоков воздуха. Схема экспериментального стенда представлена на рисунке 1.

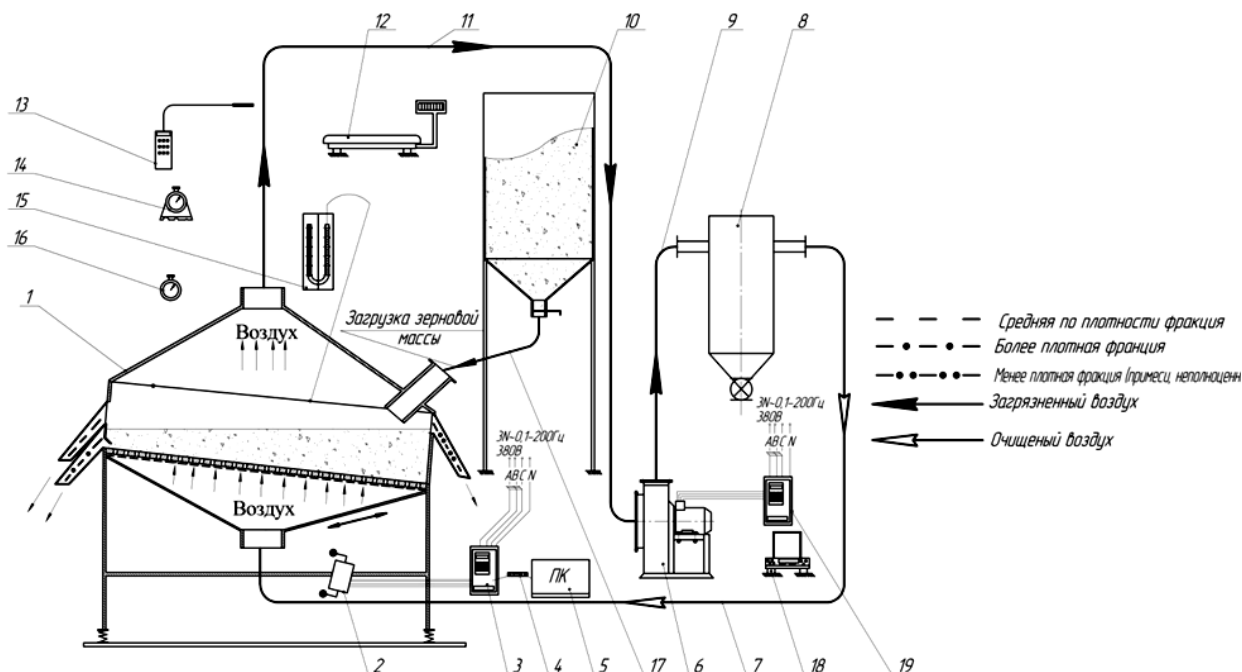


Рисунок 1 – Схема экспериментального стенда:

- 1 – сепаратор вибропневматического принципа действия; 2 – электровибратор ИВ-99Б; 3 – частотный преобразователь PROSTARPR 6100; 4 – преобразователь интерфейса AC4; 5 – персональный переносной компьютер ASUS X550C; 6 – вентилятор ВЦП-3; 7 – нагнетающий воздуховод; 8 – осадочная камера; 9 – воздуховод; 10 – бункер; 11 – всасывающий воздуховод; 12 – весы; 13 – анемометр ТКА-ПКМ50; 14 – угломер маятниковый ЗУРИ-М; 15 – U образный манометр; 16 – секундомер; 17 – патрубок для подачи зерновой массы; 18 – анализатор влажности; 19 – частотный преобразователь ВЕСПЕР E2-8300-007Н.

Главным элементом экспериментального стенда является созданный лабораторный сепаратор вибропневматического принципа действия для разделения зерновой смеси по удельной плотности, общий вид сепаратора представлен на рисунке 2.

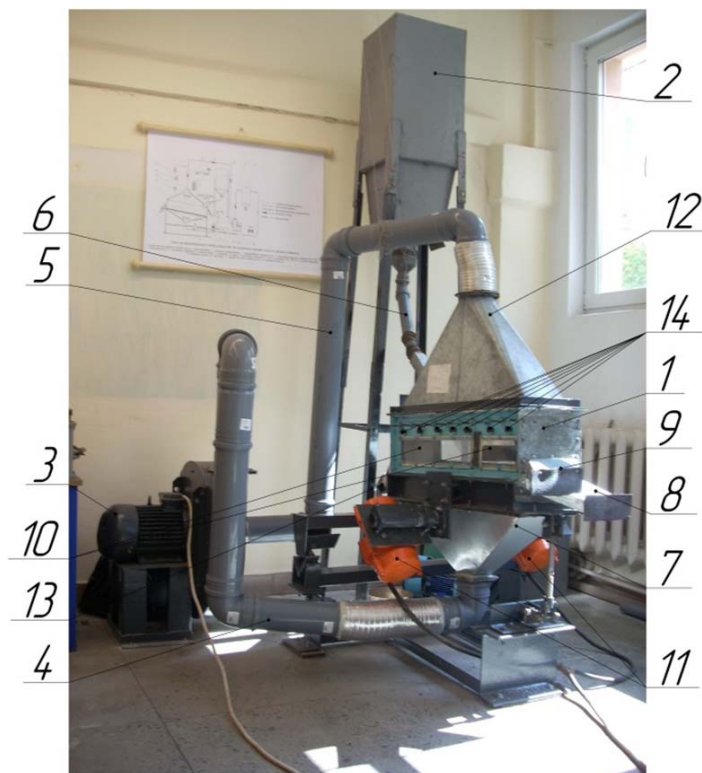


Рисунок 2 – Общий вид лабораторного сепаратора вибропневматического принципа действия:

- 1 – сепаратор вибропневматического принципа действия; 2 – бункер с исходной зерновой смесью; 3 – вентилятор ВПЦ-3; 4 – нагнетающий воздуховод; 5 – всасывающий воздуховод; 6 – загрузочный патрубок; 7 – диффузор; 8 – выходной патрубок для более плотной фракции; 9 – выходной патрубок для средней фракции; 10 – смотровое окно; 11 – электровибраторы; 12 – конфузор; 13 – патрубок для менее плотной фракции; 14 – отверстия для контроля скорости воздушного потока.

Принцип действия разработанного лабораторного сепаратора основан на вибропневматическом методе сепарирования. Вибропневматический метод сепарирования компонентов зерновой массы является одним из наиболее эффективных, т.к. разделение зерновой массы ведется под воздействием гравитационных сил, создаваемых воздушным потоком и вибрацией. Признаками делимости являются различие удельной плотности частиц, составляющих зерновую массу, частично их форма и коэффициент трения. Удельную плотность можно рассматривать как комплексную характеристику, суммарно отражающую такие показатели физико-химических свойств зерна, как структура, химический состав, масса 1000 зерен, стекловидность и т. п. Принцип вибропневматического разделения основан на избирательном транспортировании с последующим удалением отличающихся удельной плотностью частиц зерновой смеси в псевдоожиженном слое.

#### **Результаты исследований и обсуждение**

Для проведения экспериментальных исследований использовалась яровая пшеница сорта «Контеса» I репродукции с влажностью 14%. Относительная влажность пшеницы определялась на анализаторе влажности МАХ 50.

На начальном этапе исследования была проведена серия отсеивающих экспериментов, которая позволила из всего многообразия факторов, влияющих на эффективность процесса сепарирования, определить основные. После обобщения результатов предварительной серии экспериментов для проведения экспериментальных исследований процесса сортирования компонентов зерновой массы по плотности на

разработанном сепараторе факторами варьирования были выбраны следующие параметры, оказывающие наибольшее влияние на процесс вибропневмосепарирования:

- угол наклона сетчатой деки к горизонту – 2-5 град;
- амплитуда колебаний сетчатой деки – 2-4 мм;
- частота колебаний сетчатой деки – 17-22 Гц;

В качестве выходных функций исследовались такие показатели, характеризующие эффективность работы разработанного сепаратора, как коэффициент разделения зерновой массы на фракции и производительность.

Для определения коэффициента разделения зерна (семена пшеницы сорта Контесса) с высокой удельной плотностью более  $1,27 \text{ г/см}^3$  окрашивались при помощи раствора бертолетовой соли (рисунок 3) и выделялись из общей зерновой массы при помощи создания водных растворов заданной плотности на основе принципов флотации. Контроль плотности отдельных зерновок осуществлялся пикнометрическим методом.



Рисунок 3 – Визуальное отличие зерновок по плотности:  
1 – зерна с удельной плотностью  $1,27 \text{ г/см}^3$  и более; 2 – зерна с удельной плотностью менее  $1,27 \text{ г/см}^3$ .

Коэффициент разделения  $K_p$  определялся отношением:

$$K_p = \frac{n_1}{n_{\text{общ}} - n_{\text{ост}}} \quad (1)$$

где  $n_1$  – количество помеченных зерновок с плотностью более  $1,27 \text{ г/см}^3$ , вышедших из патрубка для более плотной фракции;

$n_{\text{общ}}$  – общее количество помеченных зерновок с плотностью более  $1,27 \text{ г/см}^3$ , помещенное в сепаратор;

$n_{\text{ост}}$  – количество помеченных зерновок, оставшееся в рабочей камере сепаратора.

Производительность лабораторного сепаратора определялась путём замера массы зерна, поступающего на сепарирование из загрузочного бункера, за фиксированный интервал времени по формуле:

$$Q = \frac{m}{t} \quad (2)$$

где  $m$  – масса зерна поступающего на сепарирование, кг;

$t$  – время сепарирования, с.

После обработки результатов эксперимента получены графические зависимости производительности  $Q$  и коэффициента разделения  $K_p$  от скорости воздушного потока  $v$

в рабочей камере (рисунк 4) и от частоты колебаний сетчатой деки (рисунк 5) разработанного лабораторного сепаратора вибропневматического принципа действия при угле наклона деки – 4 град., угле наклона вибраторов – 50 град., частоте колебаний сетчатой деки – 20 Гц.

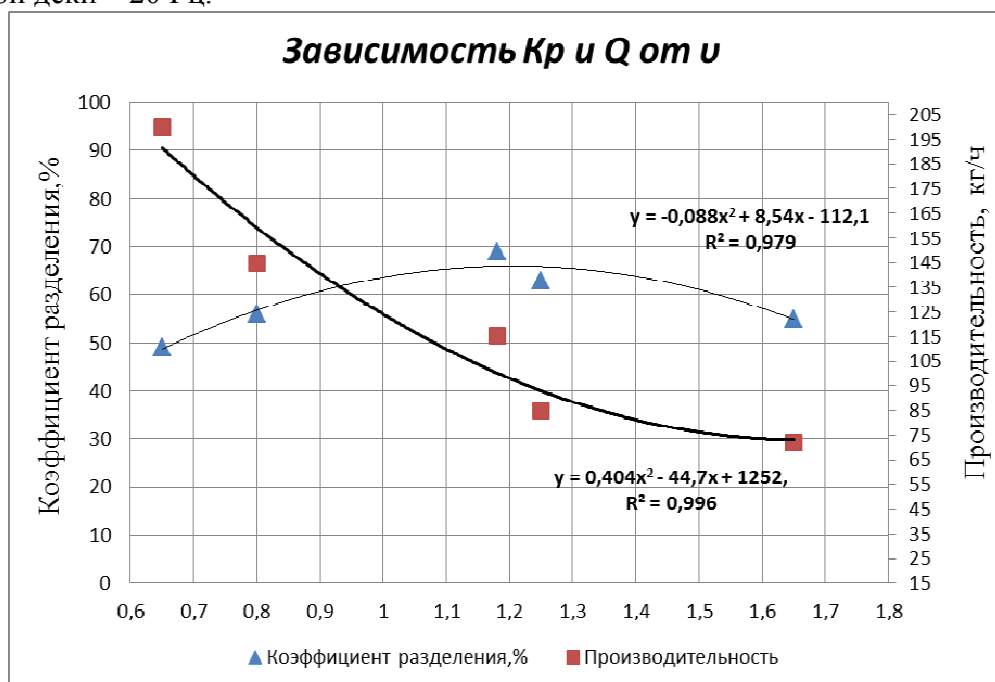


Рисунок 4 – Зависимость  $K_p$  и  $Q$  от  $v$ , при  $\alpha=4^\circ$ ,  $\beta=50^\circ$ .

Из графика на рисунке 4 видно, что с увеличением скорости воздушного потока в рабочей камере сепаратора вибропневматического принципа действия производительность уменьшается. Это объясняется тем, что при увеличении скорости восходящих потоков воздуха сцепление зерновок и сетчатой деки уменьшается, что приводит к уменьшению скорости перемещения зерновой массы по сетчатой деке и соответственно к уменьшению производительности. Зависимость коэффициента разделения от скорости воздушного потока при неизменных остальных параметрах, носит более сложный характер. При скоростях воздушного потока от 0,9 до 1,2 м/с зерновая масса переходит в состояние псевдооживления, что способствует повышению коэффициента разделения компонентов зерновой массы по удельной плотности. При увеличении скорости воздушного потока свыше 1,2 м/с зерновая масса переходит из состояния псевдооживления в состояние «кипения». «Кипящий» режим сопровождается интенсивным перемешиванием компонентов зерновой массы, процесс самосортирования прекращается, и коэффициент разделения снижается. Таким образом, для обеспечения эффективного расслоения компонентов зерновой массы по удельной плотности скорость воздушного потока в рабочей камере сепаратора должна находиться в пределах от 1,1 м/с до 1,3 м/с.

На рисунке 5 представлена зависимость производительности  $Q$  и коэффициента разделения  $K_p$  от частоты колебаний  $f$  сетчатой деки.

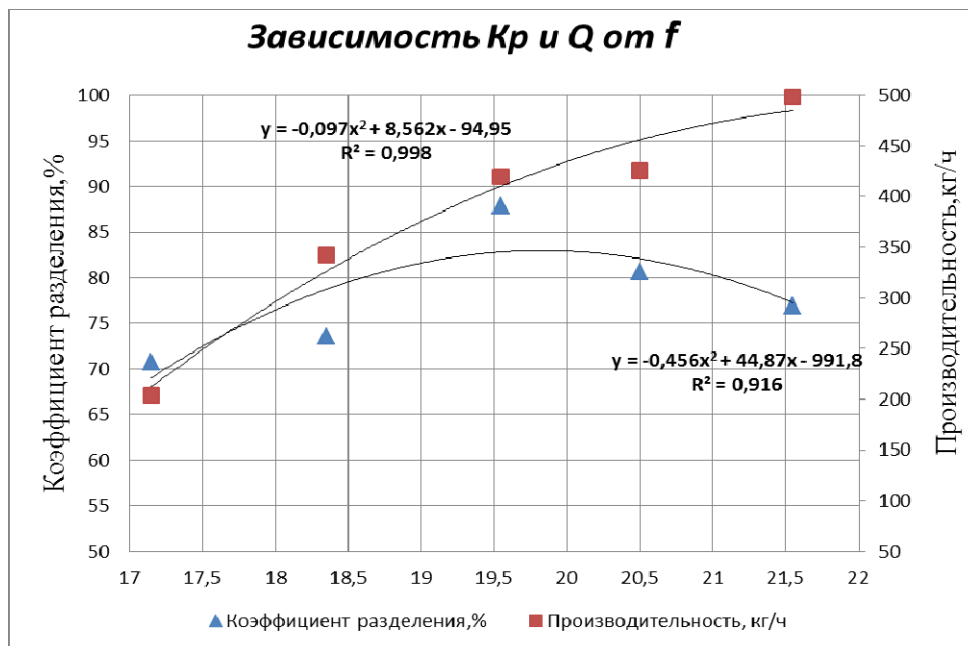


Рисунок 5 – Зависимость  $Q$  и  $K_p$  от  $f$ , при  $\alpha=4^\circ$ ,  $\beta=50^\circ$ .

Из графика на рисунке 5 видно, что с увеличением частоты колебаний сетчатой деки производительность увеличивается. Это объясняется тем, что с увеличением частоты колебаний сетчатой деки возрастает средняя скорость движения зерновой массы вдоль деки к выходным патрубкам, вследствие чего зерно быстрее проходит процесс сепарирования. Коэффициент разделения с ростом частоты колебаний деки увеличивается и достигает максимального значения при  $f=19,5$  Гц. Это обусловлено тем, что при увеличении частоты колебаний деки процесс самосортирования происходит интенсивнее и более плотные зерновки, вследствие уменьшения сцепления друг с другом под действием вибрации, опускаются в нижние слои. При дальнейшем увеличении частоты колебаний деки, свыше 20 Гц, зерновая масса переходит из равномерного протекания по деке в состояние «подпрыгивания» и интенсивного перемешивания, зерна хаотично движутся по деке и коэффициент разделения уменьшается. Таким образом, для обеспечения максимального коэффициента разделения частота колебаний сетчатой деки должна находиться в пределах от 19 до 20 Гц.

После проведения сепарирования исходной зерновой массы определялась масса 1000 зерен, которая может служить качественным показателем разделения зерновой массы по удельной плотности. Определение массы 1000 зерен проводилось в соответствии с ГОСТ 10842-89 «Зерно зерновых и бобовых культур и семена масличных культур. Метод определения массы 1000 зерен или 1000 семян»[1]. Для определения массы 1000 зёрен навеску после сепарирования распределяли ровным слоем в виде квадрата, который делили по диагонали на четыре треугольника и из каждых двух противоположных треугольников отсчитывают пробы по 500 целых зёрен (по 250 зёрен от каждого треугольника). Массу обеих проб складывали и получили массу 1000 зёрен. За окончательный результат определения массы 1000 зерен приняли среднеарифметическое значение двух результатов нахождения массы 1000 зерен, т.к. расхождения между ними не превысили 6% в соответствии с ГОСТом. В результате измерения массы 1000 зерен получены следующие данные:

- средняя масса 1000 зерен исходной смеси 31,1 г;
- средняя масса 1000 зерен средней фракции 31,4 г;
- средняя масса 1000 зерен после сепарирования 33,8 г.

Результаты измерений сведены в гистограмму, представленную на рисунке 6.

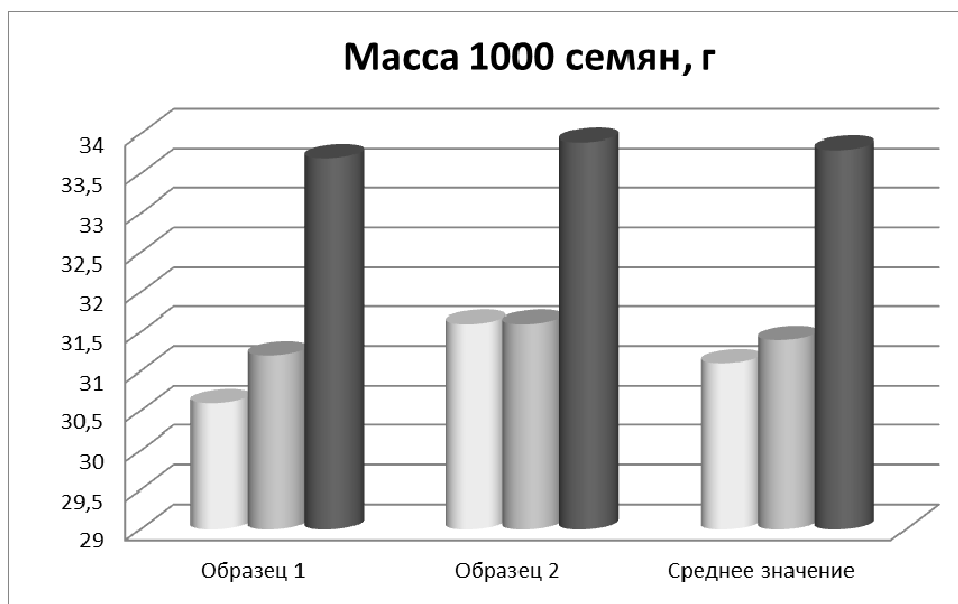


Рисунок 6 – Масса 1000 зерен различных фракций

- Масса 1000 зерен исходной смеси
- Масса 1000 зерен промежуточной фракции
- Масса 1000 зерен после сепарирования

Из гистограммы видно, что масса 1000 зерен после сепарирования и, соответственно количества веществ, содержащихся в зерне, больше на 8% по сравнению с исходной зерновой смесью. Отсепарированное зерно, имея больший запас питательных веществ, обладает большей энергией прорастания, всхожестью и, естественно, дает максимальный урожай.

### Выводы

После обобщения результатов предварительной серии экспериментов по исследованию процесса сортирования компонентов зерновой массы по плотности на разработанном сепараторе факторами варьирования были выбраны следующие параметры, оказывающие наибольшее влияние на процесс:

- угол наклона сетчатой деки к горизонту – 2-5 град;
- амплитуда колебаний сетчатой деки – 2-4 мм;
- частота колебаний сетчатой деки – 17-22 Гц;

В качестве выходных параметров выбраны:

- коэффициент разделения;
- производительность.

Экспериментально установлено, что для обеспечения эффективного расслоения компонентов зерновой массы по удельной плотности скорость воздушного потока в рабочей камере сепаратора должна находиться в пределах от 1,1 м/с до 1,3 м/с, а частота колебаний сетчатой деки – 19-20,5 Гц.

Эффективность разделения зерновой массы подтверждается таким показателем как масса 1000 зерен, которая у отсепарированного зерна больше на 8%. Такие семена могут дать более мощные и более продуктивные растения.

### Литература

1. Зерно зерновых и бобовых культур и семена масличных культур. Метод определения массы 1000 зерен или 1000 семян: ГОСТ 10842-89 (ИСО 520 - 77). –ИПК Издательство стандартов, 2001. – С. 5-7.



## THE EXPERIMENTAL RESEARCH OF AIR FLOW VELOCITY AND FREQUENCY VARIATION OF RETICULATED SURFACE OF VIBRATION PNEUMATIC EQUIPMENT

The article is based on the questions of the experimental research of the grain division and equipment productivity factors which are depended on air flow velocity and frequency variation of reticulated surface of vibration pneumatic equipment. The description of the worked out laboratory stand for the study of the self-sorting process of dry components in slush layer is adduced. The parameters of the air flow velocity and frequency variation of reticulated surface of the developed separator that operates on vibration pneumatic principle with the air flow recirculation were set on the grounds of the experimental researches. It provides the most effective separation of grain masses components on the fractions. The fractions are different from each other by specific density within the limits of 10-15% per cent.

*Keywords:* reticulated surface, air velocity, gravity separator's, division factor, specific density, variation frequency.

**УДК 621.86**

**Сашко К.В., Романюк Н.Н., Волков А.В.**

*Белорусский государственный аграрный технический университет*

## РАЗРАБОТКА КОНСТРУКЦИЙ И ОБОСНОВАНИЕ ПАРАМЕТРОВ ЗАХВАТОВ ДЛЯ ШТУЧНЫХ ГРУЗОВ

### **Аннотация**

В статье рассматриваются вопросы совершенствования погрузочно-разгрузочных работ на предприятиях АПК. Разработаны оригинальные конструкции грузозахватных устройств для перемещения штучных грузов, позволяющие минимизировать ручной труд на работах по закреплению и отсоединению груза от грузоподъемной машины. Представлены теоретические расчеты по определению параметров запатентованных устройств.

**Ключевые слова:** погрузочно-разгрузочные работы, грузозахватные устройства, штучный груз, ручной труд, грузоподъемная машина, сила трения, вес груза.

### **Введение**

С каждым годом в агропромышленном комплексе и на промышленных предприятиях увеличивается объем погрузочно-разгрузочных работ. В настоящее время на транспортных погрузочно-разгрузочных и складских операциях занято до 25% всех трудящихся. В связи с этим становится очевидной важность вопроса механизации, так как здесь имеются неиспользованные резервы высвобождения рабочей силы.

Механизация погрузочно-разгрузочных работ является проблемой комплексной, которая включает не только вопрос оснащения грузовых фронтов современным подъемно-транспортным оборудованием, но также и вопросы совершенствования существующих и разработки новых конструкций специальных грузозахватных приспособлений к универсальным кранам и погрузчикам, клещевых захватов, грейферов, поворотных захватов-манипуляторов и т.д. Применение этого оборудования