

УДК 631.362.3

UDC 631.362.3

05.20.01 Технологии и средства механизации сельского хозяйства (технические специальности)

05.20.01 Technologies and means of agricultural mechanization (technical specialties)

**НЕКОТОРЫЕ ВОПРОСЫ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ НИЗКОЧАСТОТНЫХ КОЛЕБАНИЙ С БОЛЬШОЙ АМПЛИТУДОЙ В АГРОИНЖЕНЕРИИ****SOME ISSUES OF USING LOW-FREQUENCY VIBRATIONS WITH A LARGE AMPLITUDE IN AGRICULTURAL ENGINEERING**

Секисов Александр Николаевич

Sekisov Aleksandr Nikolaevich

к.э.н., доцент,

Cand.Econ.Sci., associate professor

РИНЦ SPIN-код: 3091-0180

RSCI SPIN code: 3091-0180

Scopus ID: 57197815362

Scopus ID: 57197815362

E-mail: alnikkss@gmail.com

E-mail: alnikkss@gmail.com

*ФГБОУ ВО «Кубанский ГАУ им. И.Т.Трубилина, Краснодар, Россия**FGBOU "Kuban state agrarian University named after I.T. Trubilin, Krasnodar, Russia*

Рассмотрены вопросы использования низкочастотных колебаний при сепарации сыпучих материалов с большой амплитудой. Показаны наиболее широко используемые в сельском хозяйстве машины для разделения на фракции сыпучих материалов. Предложен способ разделения на фракции частиц сыпучих материалов, у которых сита совершают только вращательное движение, а также рабочие органы, названные нами винтовыми ситами. Новизна способа и конструкции рабочих органов подтверждены четырьмя патентами на изобретения. Представлены конструкция экспериментальной установки и уравнение движения частиц сыпучих материалов в винтовых ситах

The article considers issues of using low-frequency oscillations in the separation of bulk materials with a large amplitude. We have shown the machines most widely used in agriculture for fractionating bulk materials. We have proposed a method for separating particles of bulk materials into fractions, in which the sieves perform only rotational movement, as well as working bodies, which we call screw sieves. The novelty of the method and design of the working bodies are confirmed by four patents for inventions. The study also presents the design of the experimental setup and the equation of motion of particles of bulk materials in screw sieves

Ключевые слова: ВИНТОВОЕ СИТО, ФРАКЦИИ СЫПУЧИХ МАТЕРИАЛОВ, ЧАСТИЦЫ, ФРАКЦИИ, ТЕТРАЭДАЛЬНАЯ ФОРМА

Keywords: SCREW SIEVE, FRACTIONS OF BULK MATERIALS, PARTICLES, FRACTIONS, TETRAHEDRAL SHAPE

DOI: <http://dx.doi.org/10.21515/1990-4665-161-019>**Введение**

Одним из эффективных способов использования низкочастотных колебаний с большой амплитудой является вопрос сепарации – разделение сыпучих материалов на фракции [1,2]. До настоящего времени, как показало изучение зарубежной и отечественной литературы, максимальная амплитуда колебаний в сепарирующих устройствах достигала не более 5-10 мм, а производительность сепарирующих устройств, как известно, практически пропорциональна величине амплитуд колебаний, поэтому предлагаемое исследование представляет интерес для агроинженерии.

## 1. Исходные данные

В настоящее время наиболее широко в промышленности используются три группы машин для сепарации:

- с вращательным движением сит (рисунок 1);
- с поступательным движением сит (рисунок 2);
- с пространственным движением сит (рисунок 3).

**1.1 Устройство с вращательным движением сит (рисунок 1)** состоит из цилиндрического вращающегося сита 3, внутри которого смонтирована транспортирующая спираль, снабженная перемешивающими лопатками 2 для перемешивания сыпучих сред от загрузочного устройства 1 к выпускному 5. Устройство снабжено бункером 4 и вспомогательным шнеком 6 для вывода отходов сыпучих материалов за пределы устройства.

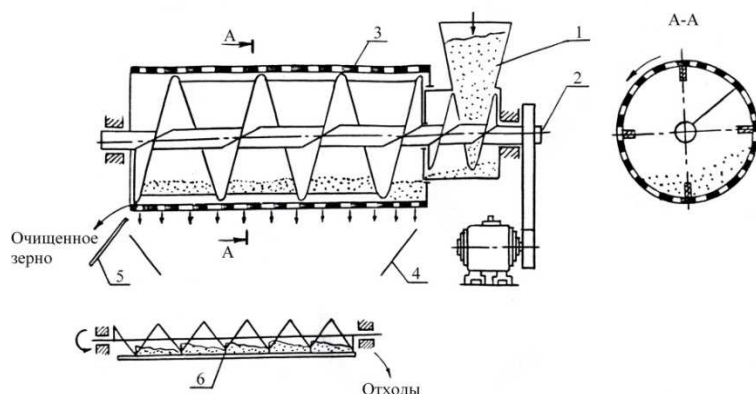


Рисунок 1- Устройство с вращательным движением сит

1- загрузочное устройство, 2- перемешивающие лопатки, 3- цилиндрическое сито, 4- бункер для приема частиц сыпучих материалов, 6- шнек.

**1.2 Вибрационные ситовые машины (рисунок 2)** с поступательным движением сит используют принцип вибрационного движения сит с круговыми колебаниями в вертикальной плоскости. На рисунке 2 показана конструктивная схема двухъярусного ситочного стана вибрационной машины для разделения сыпучих материалов на три фракции. Сито получает движение от электродвигателя 2 при помощи эксцентрикового вала 1, ось которого проходит через центр тяжести ситового стана,

опирающегося на четыре цилиндрические пружины. Сито совершает принудительные круговые колебания в вертикальной плоскости с неизменной амплитудой. Между нижним и верхним ситами предусмотрена установка двух скатных досок 3 для подачи частиц сыпучих материалов на нижнее сито.

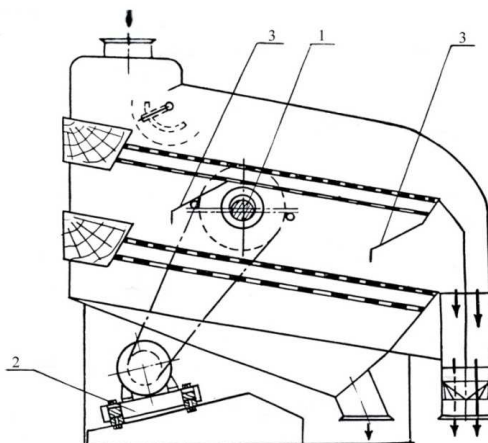


Рисунок 2 - Вибрационная ситовая машина  
(1-эксцентриквал, 2- электродвигатель, 3-две скатные доски)

### 1.3 Машина с пространственным движением сит

В машине (рисунок 3) можно устанавливать до трех сит. Ситовая ткань каждого сита слегка изогнута, благодаря чему продукт, поступивший на вогнутую середину сита, в зависимости от величины вибрации, перемешивается более или менее крутой спиралью и перемещается в

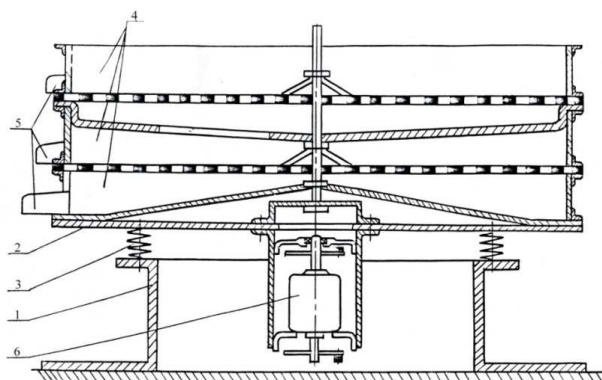


Рисунок 3 – Вибрационная машина с пространственным движением сит  
(1-станина, 2-платформа, 3- пружины, 4- вибрирующие емкости, 5-выходные патрубки, 6- электродвигатель)

направлении к периферийной окружности и далее к выходным патрубкам 5. Она может применяться для просеивания различных сыпучих материалов, например, зерновых смесей.

По ряду характеристик предпочтительней вращательное движение сит. Однако, в известных устройствах для перемещения сыпучих материалов используются шнековые устройства. В результате усложняется не только кинематическая схема устройств, но и ухудшается их техническая характеристика.

Поэтому нами предлагаются оригинальные конструкции сит, названных нами винтовые сита, новизна которых подтверждена патентами РФ [3-6].

## 2. Машины для сепарации (разделения на фракции сыпучих материалов) на базе винтовых сит

### 2.1 Винтовые сита I (первого) класса

Машина для сепарации с винтовым ситом I класса представлена на рисунке 4. Конструкция и винтовые сита этого класса хорошо показаны и описаны в работах [2, 3].

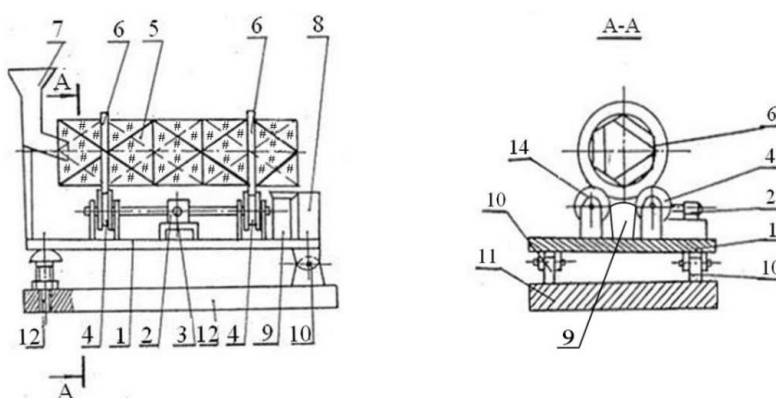
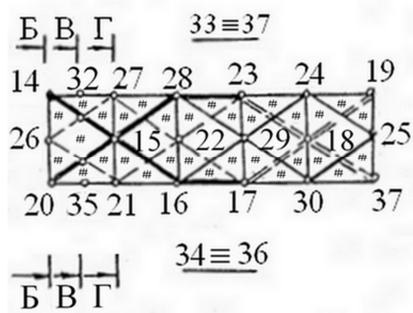


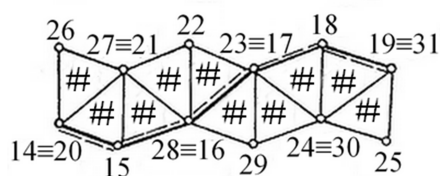
Рисунок 4 – Машина для сепарации сыпучих материалов на базе винтового сита I (первого) класса

(1 опорная плита, 2- привод, 3-электродвигатель, 4- четыре опорных ролика, 5- винтовое сито, 6- два обода, 7-загрузочное устройство, 8- емкость для приема крупных фракций сыпучих материалов, 9- емкость для приема мелких фракций

сыпучих материалов, 10- устройство для изменения угла наклона устройства, 11- опорная плита, 12-регулирующий винт)



а) вид спереди



б) вид сверху

Рисунок 5 – Винтовое сито I (первого) класса (14-15-16-17-18-19, 20-21-22-23-24-25, 26-27-28-29-30-31- ломанные винтовые линии)

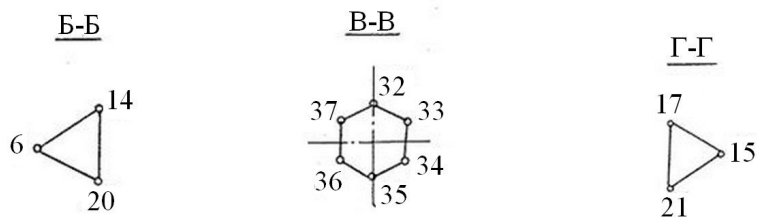


Рисунок 6 – Сечения Б-Б, В-В – Г-Г на рисунке 5

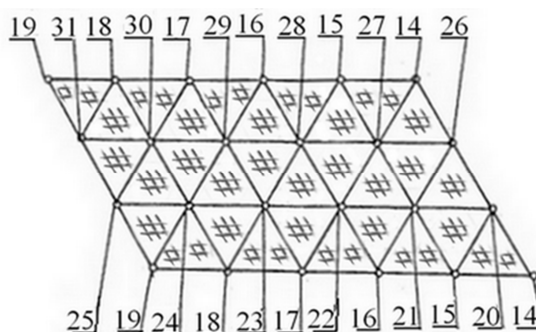


Рисунок 7 – Развертка боковой поверхности винтового сита 1 (первого) класса

Частицы сыпучих материалов загружаются в винтовое сито 5. По мере перемещения, мелкие частицы сыпучих материалов, через

перфорации стенок винтового сита 5, попадают на склизы 9 и с их помощью выгружаются в приемную емкость 15. Крупные частицы перемещаются от загрузки к выгрузке и выгружаются в приемную емкость 8.

## 2.2 Винтовые сита II (второго) класса

Устройство для разделения на фракции сыпучих материалов включает винтовое сито 5. Конструкция устройства и винтовые сита этого класса хорошо показаны и описаны в работах [2, 4].

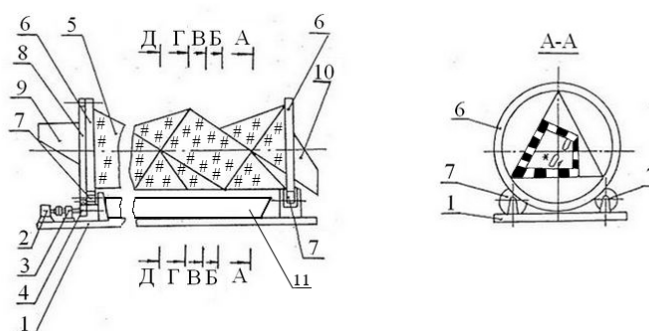


Рисунок 8 – Устройство для разделения на фракции частиц сыпучих материалов на базе винтового сита II (второго) класса (1-основание, 2-электродвигатель, 3-редуктор, 4-приводная шестерня, 5-винтовое сито, 6-два обода, 7- опорные ролики, 8-венцовая шестерня, 9-устройство для загрузки, 10- устройство для выгрузки),

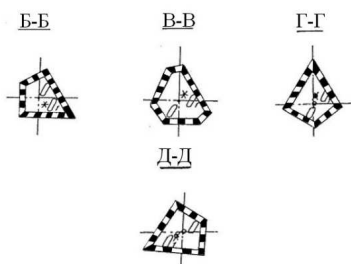


Рисунок 9 – Сечения винтового сита II (второго) класса на рисунке 5

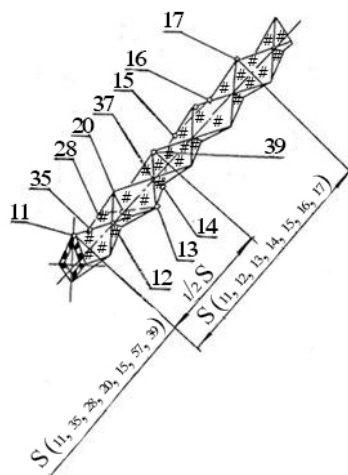


Рисунок 10 – Аксонометрическая проекция винтового сита II (второго) класса

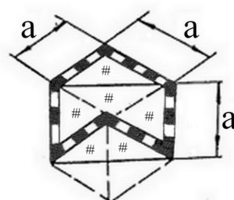


Рисунок 11 – Одна из секций винтового сита II (второго) класса

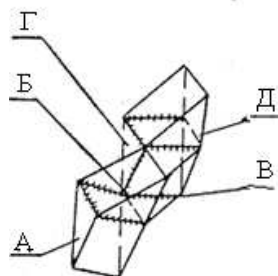


Рисунок 12 – Схема сборки винтового сита II (второго) класса

### 2.3 Винтовые сита III (третьего) класса

Устройство для разделения на фракции частиц сыпучих материалов содержит винтовое сито 5, выполненное из тетраэдральных пустот и изготовленное с разносторонним направлением винтовых линий, например, винтового сита III класса. Конструкция и особенности сборки винтовых сит такого класса хорошо представлены в работах [1,3,5]. Винтовое сито 5 смонтировано в двух ободах 6 (рисунок 13).

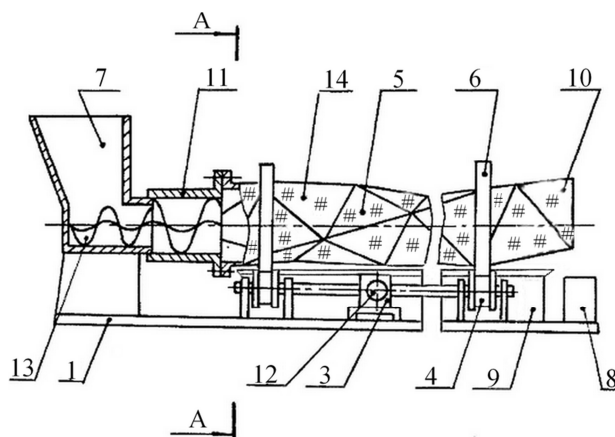


Рисунок 13 – Устройство для разделения частиц сыпучих сред на базе винтового сита III (третьего) класса

(1-основание, 3-редуктор, 4- две пары опорных роликов, 5-винтовое сито III класса, 6-два обода, 7-загрузочное устройство, 8- емкость для приема крупных фракций, 9-емкость для приема мелких фракций, 10- выходное отверстие, 11- переходная втулка, 12-электродвигатель, 13- шнек, 14- одно из сит по периметру винтового сита

Винтовое сито 5 своими ободами 6 покоится с возможностью вращения на четырех опорных роликах 4, которые получают вращательное движение от привода 3. Устройство снабжено загрузочным приспособлением 7, которое вместе с опорными роликами 4 и приводом 3 смонтированы на основании 1.

Мелкие фракции частиц сыпучих материалов выводятся через перфорации тетраэдральных пустот в емкость 9, а крупные фракции в емкость 8.

#### 2.4 Винтовые сита IV (четвертого) класса

Устройство для разделения на фракции частиц сыпучих материалов, включает установленный горизонтально на станине и снабженный приводом в виде многозаходного винтового сита 1 со средствами для загрузки 3 и выгрузки 4, снабженное приводом 5, а также емкостью 6 для приема мелких фракции сыпучих материалов, а крупные фракции выводятся через патрубок 4 устройства для выгрузки (рисунок 14). Конструкция устройства и монтаж винтового сита этого класса хорошо представлены и показаны в работах [1,6].



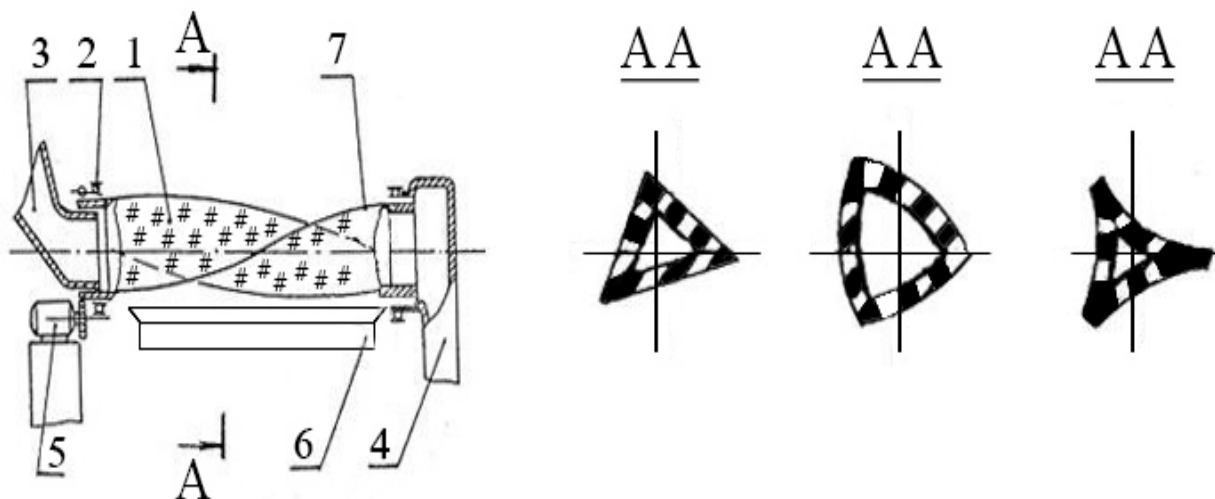


Рисунок 14– Устройство для разделения на фракции частиц сыпучих материалов на базе винтовых сит IV (четвертого) класс (вид спереди и сечения А-А

### 3. Описание экспериментальной установки для разделения на фракции частиц сыпучих сред

Устройство (рисунок 15) состоит из станины 1, на которой закреплен привод 2 с плавной регулировкой скорости вращения сита от 0 до 120 об/мин. Винтовое сито 3 снабжено двумя ободами 4 и 5, которые покоятся на четырех роликовых опорах 6. По всей длине винтового сита 3 закреплены сита треугольной формы двух типоразмеров: сита 10 с размером проходных отверстий 3 мм, сита 11 с размером проходных отверстий 5 мм. Через торцевое отверстие 12 винтового сита выгружаются крупные частицы и крупный сор.

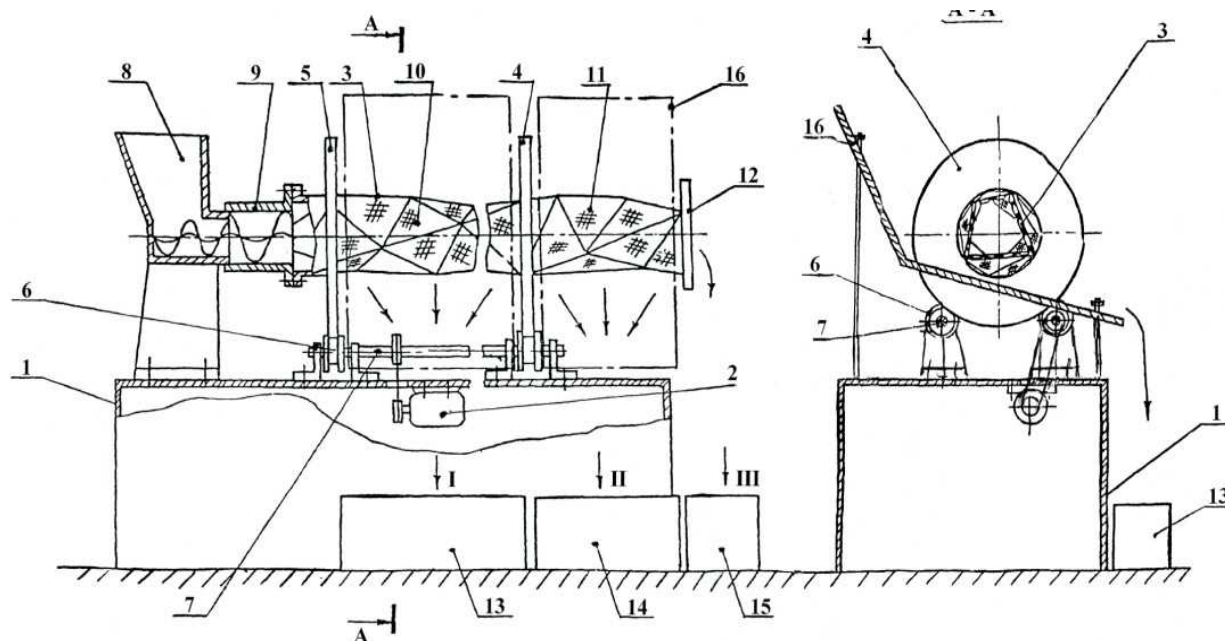


Рисунок 15 - Экспериментальная установка на базе винтового сита

Устройство снабжено ёмкостями 13-15 для приема отсепарированных частиц сыпучих сред, а также склизами 16 для приема и подачи этих частиц в приемные ёмкости 13-15 по крупности.

При движении, частицы сыпучих материалов увлекаются плоскими ситами 10-11 и совершают движение в лавинообразном или водопадном движении и под воздействием низкочастотных колебаний и сложнопространственного движения происходит разделение частиц по крупности. В дальнейшем, разделенные частицы сыпучих материалов, продвигаясь под действием силы тяжести по склизам 16, попадают в ёмкости 13-15. Сита 10, 11 сменные и с их помощью можно набирать различные сочетания типоразмеров сепарирующих отверстий винтовых сит. Фотография экспериментальной установки показана на рисунке 16.

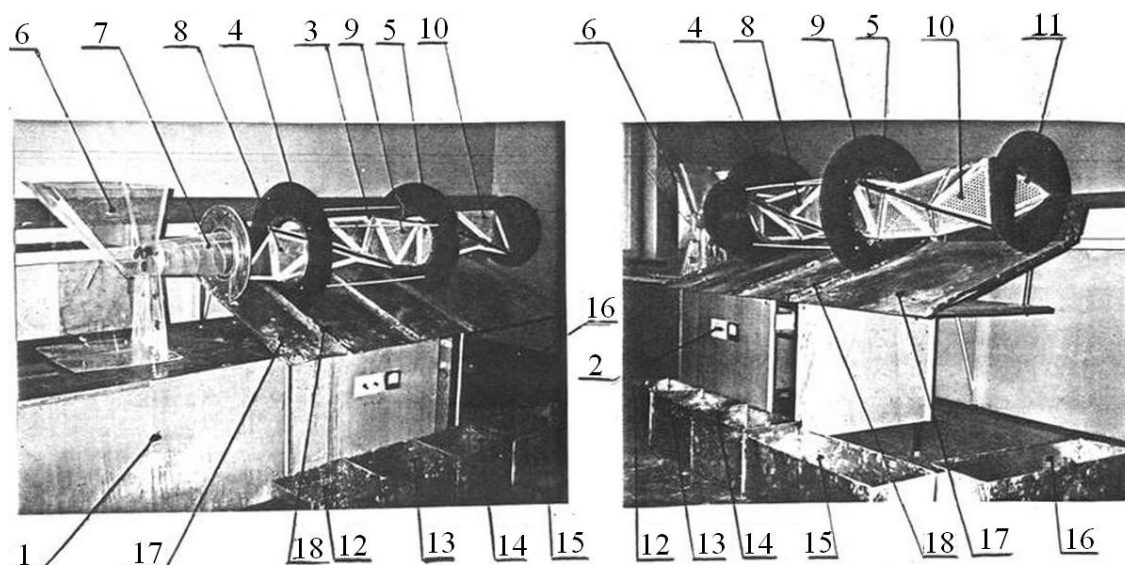


Рисунок 16 - Экспериментальная установка для разделения на фракции сыпучих материалов

(1-станина, 2- привод, 3- винтовое сито, 4 и 5- обода, 6- загрузочная воронка 7- загрузочная втулка, 8, 9, 10-сменное сито треугольной формы с различными типоразмерами сепарирующих отверстий, 11- торцевое выгрузочное отверстие винтового сита, 12, 13, 14, 15, 16- емкости для приема готовой продукции и в виде различных фракций сыпучих материалов, 17, 18- склизы для приема и транспортировки готовой продукции в емкости)

#### 4. Экспериментальные исследования

##### 4.1 Проверка работоспособности установки

Для проверки работоспособности установки был использован рис неочищенный, который загружался непрерывным потоком в загрузочное устройство 8 (рисунок 16). Потоки риса, перемещаясь от загрузки к выгрузке, интенсивно перемешивались и сор риса через отверстия 10 удалялся в ёмкость 13. Целые зерна риса выводятся из устройства через отверстия 11 в приемный бункер 14. Крупный сор выводится из экспериментального устройства через торцевое отверстие 12 в бункер 15.

Таким образом, экспериментально была доказана работоспособность устройства для сепарации на базе винтовых сит и уточнены параметры коэффициентов в расчетных формулах для определения скорости продольного перемещения сыпучих материалов в винтовых ситах

## 4.2 Обобщение исследований

Для выполнения проектных работ по созданию машин для разделения на фракции сыпучих материалов предлагается зависимость:

$$V = 2 \cdot G \cdot \omega \cdot (1 - V) \cdot K_q, \quad (\text{м/с}) \quad (1)$$

где  $G$  – постоянная винтовых сит:

$$\begin{aligned} \text{I (первого) класса } G &= 0,145 \operatorname{tg} 30^\circ a_1; \\ \text{II (второго) класса } G &= 0,115 \operatorname{tg} 21^\circ a_2; \\ \text{III (третьего) класса } G &= 0,135 \operatorname{tg} 19,5^\circ a_3; \\ \text{IV (четвертого) класса } G &= 0,135 \operatorname{tg} \lambda_4 a_4; \end{aligned} \quad (2)$$

0,145; 0,115; 0,135 – коэффициенты в  $\text{м}^{-1}$ ;

$a_1, a_2, a_3, a_4$  – параметры (боковые стороны) винтовых сит;

$\lambda_4$  – угол винтовой линии;

$V$  – поправочный коэффициент для винтовых сит,

$$\begin{aligned} \text{I (первого) класса } v &= \text{I} - \varphi_1; \\ \text{II (второго) класса } v &= \text{0,25}; \\ \text{III (третьего) класса } v &= \text{0,21}; \\ \text{IV класса (четвертого) } v &= \text{0,20}; \end{aligned} \quad (3)$$

$$\varphi_1 \varphi_1 = 0,088$$

$K_q$  – безразмерный коэффициент удельной производительности винтовых сит.

## Заключение

Рассмотрены вопросы использования низкочастотных колебаний при разделении сыпучих материалов с большой амплитудой колебаний движения. Показаны используемые в сельском хозяйстве машины для разделения на фракции сыпучих материалов. Предложен способ разделения сыпучих материалов, а также рабочие органы, названные нами винтовыми ситами. Новизна способа и конструкции рабочих органов подтверждена 5 патентами на изобретения. Представлены конструкции

винтовых сит, а также экспериментальной установки. Получены зависимости для выбора и расчета параметров винтовых сит.

### Список литературы

1. Aleksandr Sekisov and Georgy Serga. Rotory-screw systems for rotary Kilns. – E3S Web of Conferences 91. 02034(2019): <https://doi.org/10.105/e3sconf/20199102034> TRACEE-2018.

2. Серга Г.В., Секисов А.Н., Губиева С.Ю. Разработка классификации винтовых сит/ Г.В. Серга, А.Н. Секисов, С.Ю. Губиева // Вестник Брянского государственного технического университета. – 2019. - №11. - С. 27-37: <https://doi.org/10.30987/1999-8775-2019-2019-11-27-37>.

3. Пат. № 2121890, Российская Федерация, МПК В07В 1/22. Машина для сепарации сыпучих сред / Л.Н. Луговая, И.И. Табачук, Э.В. Кравченко, Г.В. Серга; «Кубанский государственный аграрный университет». – № 97113113/03; заявл. 16.07.1997; опубл. 20.11.1998, Бюл.№ 25.

4. Пат.1808417, А.С. СССР № 309750 и № 271981, МПК В07В 1/22. Устройство для очистки семян / Г. В. Серга, Г. С. Григорьянц, В. Н. Мирошниченко Армавирский государственный педагогический институт; Армавирский масложиркомбинат. – № 4864388;

5. Пат. № 2494601, Российская Федерация, МПК А01D41/00. Комбайн зерноуборочный прямоточный/ Г.В. Серга, В.Д. Таратута; Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего профессионального образования «Кубанский государственный аграрный университет». - № 2012121216/13; заявл. 23.05.2011; опубл. 10.10.13. Бюл. №28.

6. Пат. № 2007226 Российская Федерация, МПК В07В 1/22. Семяочистительная машина / Г. В. Серга, К. В. Филин; - № 4926616/03; заявл. 11.03.1991; опубл. 20.11.1998, Бюл. №32.

### References

1. Aleksandr Sekisov and Georgy Serga. Rotory-screw systems for rotary Kilns. – E3S Web of Conferences 91. 02034(2019): <https://doi.org/10.105/e3sconf/20199102034> TRACEE-2018.

2. Serga G.V., Sekisov A.N., Gubieva S.Ju. Razrabotka klassifikacii vintovyh sit/ G.V. Serga, A.N. Sekisov, S.Ju. Gubieva // Vestnik Brjanskogo gosudarstvennogo tehničeskogo universiteta. – 2019. - №11. - S. 27-37: <https://doi.org/10.30987/1999-8775-2019-2019-11-27-37>.

3. Pat. № 2121890, Rossijskaja Federacija, MPK V07V 1/22. Mashina dlja separacii sypuchih sred / L.N. Lugovaja, I.I. Tabachuk, Je.V. Kravchenko, G.V. Serga; «Kubanskij gosudarstvennyj agrarnyj universitet». – № 97113113/03; zajavl. 16.07.1997; opubl. 20.11.1998, Bjul.№ 25.

4. Pat.1808417, A.S. SSSR № 309750 i № 271981, MPK V07V 1/22. Ustrojstvo dlja ochistki semjan / G. V. Serga, G. S. Grigor'janc, V. N. Miroshnichenko Armavirskij gosudarstvennyj pedagogičeskij institut; Armavirskij maslozhirkombinat. – № 4864388;

5. Pat. № 2494601, Rossijskaja Federacija, MPK A01D41/00. Kombajn zernouborochnyj prjamotochnyj/ G.V. Serga, V.D. Taratuta; Federal'noe gosudarstvennoe

bjudzhethnoe obrazovatel'noe uchrezhdenie vysshego professional'nogo obrazovanija  
«Kubanskij gosudarstvennyj agrarnyj universitet». - № 2012121216/13; zajavl. 23.05.2011;  
opubl. 10.10.13. Bjul. №28.

6. Pat. № 2007226 Rossijskaja Federacija, MPK V07V 1/22. Semjaochistitel'naja  
mashina / G. V. Serga, K. V. Filin; - № 4926616/03; zajavl. 11.03.1991; opubl. 20.11.1998,  
Bjul. №32.