

МИНИСТЕРСТВО СЕЛЬСКОГО ХОЗЯЙСТВА РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ
ФЕДЕРАЛЬНОЕ ГОСУДАРСТВЕННОЕ ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЕ УЧРЕЖДЕНИЕ
ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ
УДМУРТСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ АГРАРНЫЙ УНИВЕРСИТЕТ

Кафедра «Эксплуатация и ремонт машин»

ДОПУЩЕН К ЗАЩИТЕ
Заведующий кафедрой
ЭРМ Федоров О.С.

_____ подпись
« ____ » _____ 20 ____ г.

МАГИСТЕРСКАЯ ДИССЕРТАЦИЯ

**Исследование эффективности работы виброустановки для
очистки зерна**

Направление магистерской подготовки - Агроинженерия
Магистерская программа - Технологии и технические средства для
производства и переработки сельскохозяйственной продукции

Работу выполнил студент _____ Анисимов М.С.
_____ подпись _____ Ф.И.О.

Научный
руководитель канд. тех. наук, доцент _____ Ширококов В. И.
_____ ученая степень, звание _____ подпись _____ Ф.И.О.

Ижевск 2023

Содержание

Нормативные ссылки.....	5
Основные термины и определения принятые при виброизмерениях.....	6
Введение.....	7
1 Состояние вопроса, цель и задачи исследований.	
1.1 Характеристика концентрированных кормов и их энергетическая ценность.....	12
1.2 Физико-механические свойства зерновой массы (вороха).....	14
1.3 Обзор конструктивно-технологических схем молотковых дробилок зерна.....	16
1.4 Анализ теоретических исследований.....	26
1.5 Цель и задачи исследований.....	30
2 Теоретическое обоснование конструктивно-технологических параметров вибрационного отделителя примесей.	
2.1 Конструктивно-технологическая схема вибрационного отделителя неорганических примесей.....	31
2.2 Исследование движения частицы по вибрлотку.....	33
2.3. Обоснование конструктивных и технологических параметров вибрлотка.....	37
3 Программа и методика экспериментальных исследований.	
3.1 Программа экспериментальных исследований.....	39
3.2 Методика экспериментальных исследований	
3.2.1 Приборы и оборудование.....	40
3.2.2 Лабораторная установка.....	42
3.2.3 Определение расхода мощности на работу вибросепаратора.....	46
3.2.4 Факторный анализ и выбор критериев оптимизации.....	47
3.3 Исследование параметров вибросепаратора без нагрузки.	
3.3.1 Определение мощности холостого хода и частоты вращения вала вибратора.....	48
3.3.2 Исследование скорости колебаний вибрационного лотка без	

нагрузки.....	49
3.4 Исследование параметров вибросепаратора под нагрузкой.	
3.4.1 Физико-механические свойства исследуемых материалов.....	50
3.4.2 Определение скорости погружения примесей в зерновой ворох.....	51
4 Результаты экспериментальных исследований вибрационного уловителя примесей.	
4.1 Исследование параметров вибросепаратора без нагрузки.	
4.1.1 Определение мощности холостого хода и частоты вращения вала вибратора.....	52
4.1.2 Исследование скорости колебаний вибрационного лотка без нагрузки.....	54
4.2 Исследование параметров вибросепаратора под нагрузкой.	
4.2.1 Физико-механические свойства исследуемых материалов.....	57
4.2.2 Исследование уровня вибрации лотка под нагрузкой.....	58
4.2.3 Определение скорости погружения примесей в зерновой ворох.....	60
4.3 Определение энергетических показателей работы вибрационного отделителя примесей.....	63
Выводы по разделу.....	64
5. Эффективность работы вибросепаратора.....	65
Заключение.....	66
Библиографический список.....	67
Приложения.....	72

Нормативные ссылки

В настоящей диссертации использованы ссылки на следующие стандарты:

1. ГОСТ 9267-68. Комбикорма-концентраты для свиней. Технические условия. Переиздание с изменениями. – М.: Изд-во стандартов, 1993. – 6 с.
2. ГОСТ 18221-72. Комбикорма полнорационные для сельскохозяйственной птицы. Технические условия. Переиздание с изменениями. – М.: Изд-во стандартов, 1991. – 13 с.
3. ГОСТ 9268-90. Комбикорма-концентраты для крупного рогатого скота. Технические условия. – М.: Изд-во стандартов, 1991. – 10 с.
4. ГОСТ 28098-89. Дробилки кормов молотковые. Общие технические условия. – М.: Изд-во стандартов, 1989. – 2 с.
5. ГОСТ 21055-96. Комбикорма полнорационные для беконного откорма свиней. Общие технические условия. – М.: Изд-во стандартов, 1997. – 9 с.
6. ГОСТ 13299-71. Комбикорма-концентраты для поросят-сосунов. – М.: Изд-во стандартов, 1976. – 6 с.
7. ГОСТ 10199-81. Комбикорма-концентраты для овец. – М.: Изд-во стандартов, 1981. – 6 с.

Основные термины и определения, принятые при измерениях вибрации.

Термин	Определение
Вибрация	Колебательное движение какого-либо тела, дрожание.
Виброметр	Прибор для измерения параметров вибрации
Параметр вибрации	К параметрам линейной вибрации относят: виброускорение, виброскорость, виброперемещение и частота колебаний
Виброметрия	Совокупность средств и методов измерения вибрации

Введение.

Себестоимость и потери при приготовлении кормов для животноводства страны напрямую зависят от используемых методов переработки зерна и уровня технических средств предприятий. Для повышения эффективности изготовления кормов для животных необходимо своевременно обновлять технику, а также следить за новыми способами переработки. Но в связи с тем, что промышленность уменьшила производство технических средств для животноводческой отрасли, большинство техники приобретается за рубежом, поэтому оно не всегда полностью соответствует потребностям агропромышленного комплекса [44].

Для измельчения зерна в производстве комбикормов и сельскохозяйственных предприятиях, в основном, используют молотковые дробилки. Вследствие попадания в дробильную камеру неорганических примесей при измельчении зерна, повышается износ рабочих органов. Уловители примесей, которые используют в современных дробилках, справляются не в полной мере, поэтому снижается ресурс дек, молотков и решет. Для эффективного использования молотковых дробилок и снижения износа рабочих органов необходимо разработать уловитель неорганических примесей и обосновать его конструктивные параметры.

Цель исследования. Целью работы является повышение эффективности работы молотковых дробилок зерна и уменьшение износа рабочих органов путём совершенствования процесса отделения неорганических примесей из зернового вороха.

Объект исследования. В качестве объекта исследования выбран рабочий процесс вибрационного отделителя неорганических примесей из зернового вороха.

Предмет исследования. Виброотделитель неорганических примесей из зернового вороха.

Методика исследований. При проведении экспериментальных

исследований использованы стандартные, а также разработанные нами методики. Результаты экспериментов обрабатывались при помощи пакетов Microsoft Office 2007.

Научная новизна работы заключается в следующем:

- обоснована конструктивно-технологическая схема вибрационного отделителя неорганических примесей;
- получены аналитические зависимости, позволяющие определить минимальное значение длины вибротка в зависимости от физико-механических свойств зерна овса, гравия и параметров вибрационного уловителя примесей;
- получены эмпирические модели, позволяющие оптимизировать конструктивно-технологические параметры виброотделителя, обеспечивающие, качественное отделение неорганических примесей из зернового вороха овса, соответствующего зоотехническим требованиям для всех групп сельскохозяйственных животных, при минимальных энергозатратах.

Достоверность основных выводов подтверждена экспериментальными исследованиями.

Практическая ценность и реализация результатов исследований.

Проведенные исследования позволили усовершенствовать дробилку зерна, обладающую высоким качеством выполнения технологического процесса, низким удельным расходом энергии.

Результаты могут быть использованы сельхоз предприятиями и проектно-конструкторскими отделами заводов изготовителей дробилок.

Апробация работы. Основные положения диссертационной работы докладывались, обсуждались и получили положительные отзывы на Всероссийской студенческой научной конференции "Студенческая наука - инновационному развитию агропромышленного комплексу" (г. Ижевск, ФГБОУ ВО Ижевская ГСХА, в 2022-2023 г.).

По материалам исследований опубликовано 2 работы.

На защиту выносятся следующие положения:

- конструктивно - технологическая схема вибрационного уловителя примесей;
- теоретическое обоснование параметров виброуловителя;
- оптимальные конструктивно-технологические параметры виброуловителя;
- экономическая эффективность использования виброуловителя.

ANNOTATION

The cost price and losses in the preparation of feed for livestock in the country directly depends on the methods used for processing grain and the level of technical facilities of enterprises. To improve the efficiency of the production of animal feed, it is necessary to update the machinery in a timely manner, and also to follow new methods of processing. But due to the fact that industry has reduced the production of technical means for the livestock sector, most of the technology is purchased abroad, so it does not always fully meet the needs of the agro-industrial complex [44].

For grinding grain in the production of mixed fodders and agricultural enterprises, mainly use hammer crushers. Due to the ingress of inorganic impurities into the grinding chamber when the grain is crushed, the wear of the working organs is increased. The traps of impurities that are used in modern crushers do not fully cope, therefore the resource of decks, hammers and sieves decreases. To effectively use hammer crushers and reduce wear of working bodies, it is necessary to develop a trap for inorganic impurities and to justify its design parameters.

Purpose of the study. The aim of the work is to increase the efficiency of the hammer mill crushers and to reduce the wear of the working organs by improving the process of separating inorganic impurities from the grain heap.

Object of study. The working process of the vibrational separator of inorganic impurities from the grain heap is chosen as the object of research.

Subject of study. Vibro separator of inorganic impurities from grain heaps.

Methods of research. In carrying out experimental studies, we used standard and developed methods. The results of the experiments were processed using Microsoft Office 2007 packages.

The scientific novelty of the work is as follows:

- the constructive-technological scheme of the vibrational separator of inorganic impurities is justified;

- Analytical dependences obtained allowing to determine the minimum value of the length of the vibratory stripe depending on the physical and mechanical properties of barley grains, gravel and the parameters of the vibration trap of impurities;

- Empirical models are obtained that allow to optimize the design and technological parameters of the vibro separator, providing a qualitative separation of inorganic impurities from the grain heap of barley, corresponding to zootechnical requirements for all groups of farm animals, with minimal energy costs.

The reliability of the main conclusions is confirmed by experimental studies.

Practical value and implementation of research results.

The carried out researches allowed to improve the grain crusher, which has high quality of technological process, low specific energy consumption.

Results can be used by agricultural enterprises and design departments of factories of manufacturers of crushers.

Approbation of work. The main provisions of the thesis were reported, discussed and received positive feedback at the All-Russian Student Scientific Conference "Student Science - Innovative Development of the Agro-Industrial Complex" (Izhevsk, SAA of Izhevsk, 2022-2023).

Based on research materials published 2 works.

The following provisions are made for protection:

- constructive - technological scheme of the vibratory trap of impurities;
- theoretical justification of the parameters of the scoop;
- optimum design and technological parameters of the scoop;
- economic efficiency of the use of the scoop.

1 Состояние вопроса, цель и задачи исследований.

1.1 Характеристика концентрированных кормов и их энергетическая ценность.

Зоотехнические требования к концентрированным кормам предусматривают выполнение следующих операций: очистка и измельчение.

Очистка от минеральных, органических примесей на зерноочистительных машинах (сепараторы, бураты, грохоты и другие) и от металлических примесей – на магнитных колонках (сепараторах).

Содержание минеральных примесей (песок) в комбикормах допускается не более: 0,3 % – для поросят-отъёмышей; 0,5 % – для молодняка, маток, свиней беконного и мясного откормов; 0,7 % – для откорма свиней до жирных кондиций и маток, подготовленных к случке (ГОСТ 9267 – 68) [1].

Содержание золы, не растворяемой в соляной кислоте, в комбикормах допускается не более: 0,3 % – для цыплят; 0,5 % – для молодняка кур и бройлеров (ГОСТ 18221 – 72) [2], для выращивания и откорма крупного рогатого скота (КРС) в животноводческих комплексах (ГОСТ 9268 – 90) [3]; 0,7 % – для свиней (ГОСТ 9267 – 68) [1]; 1,0 % – для кур-несушек.

Содержание металломагнитных примесей размером до 2-х мм допускается на 1 кг корма не более: 10 % – для поросят-отъёмышей; 15 % – для выращивания и откорма крупного рогатого скота в животноводческих комплексах (ГОСТ 9268 – 90) [3]; 20 % – для цыплят молодняка кур и бройлеров (ГОСТ 18221 – 72) [2]; 25 % – ремонтного молодняка свиней в возрасте от четырех до восьми месяцев; 30 % – для кур-несушек и свиней. Наличие металломагнитных частиц больше 2 мм и с острыми краями не допускается.

Одна из самых важных операций в технологическом процессе подготовки кормов к скармливанию сельскохозяйственным животным, обусловленная требованиями физиологии их кормления - измельчение. В результате

измельчения кормов образуется множество частиц с большой общей площадью поверхности, благодаря чему повышается усвояемость питательных веществ и ускоряется пищеварение.

Зерно измельчают разными способами: на мельницах, дробилках или плющилках. В соответствии со стандартом на комбикорма различают три степени помола, которые характеризуются средними размерами частиц (модулем): от 0,2 до 1,0 мм – мелкий; от 1,0 до 1,8 мм – средний; от 1,8 до 2,6 мм – крупный помол.

Для каждого вида и возраста животного оптимальный размер измельченных частиц комбикормов свой. Так для поросят-сосунов – 0,7...0,8 мм, поросят-отъемышей – 0,9...1,1 мм, свиней беконного откорма – 1,2...1,6 мм, для крупного рогатого скота – не выше 3 мм, для сельскохозяйственной птицы – до 2...3 мм при сухом кормлении и до 1 мм, при кормлении влажными мешанками [3,13,14,15,16,17].

Для оценки качества измельчения концентрированных кормов используется нормативно-техническая документация ГОСТ 28098 – 89 [4], в котором указаны следующие основные показатели: массовая доля остатка на сите с отверстиями диаметром 3 мм и массовая доля целых зёрен. Количественные значения вышеуказанных показателей для разных групп сельскохозяйственных животных установлены ГОСТ 9268 – 90 (для КРС) [3], ГОСТ 9267 – 68 (для свиней) [1], ГОСТ 21055 – 96 (для беконного откорма свиней) [5], ГОСТ 13299 – 71 (для поросят-сосунов) [6], ГОСТ 18221 – 72 (для сельскохозяйственной птицы) [2], ГОСТ 10199 – 81 (для овец) [7].

Таким образом, одним из основных требований при приготовлении концентрированных кормов является обеспечение требуемого модуля помола с равномерным гранулометрическим составом и минимальным содержанием пылевидной фракции и минеральных и неорганических примесей в готовом продукте [3,7,22,23]. Кроме того, примеси значительно сокращают ресурс рабочих органов дробилки из-за несовершенства конструкции и рабочего процесса [24,25,26,27].

1.2 Физико-механические свойства зерновой массы (вороха).

При измельчении зерна физико-механические свойства зерновой массы и механические характеристики зерна оказывают существенное влияние на рабочий процесс. К физико-механическим свойствам относятся: линейные размеры зерна, насыпная масса, плотность, сыпучесть, скважность, влажность.

Насыпная масса представляет собой массу зерен в 1 дм³ [12].

Плотность зерновой массы находят делением массы 1000 зёрен, взвешенных с точностью до 0,01 г, на их объём.

Скважность зерновой массы — это наличие промежутков между ее твердыми частицами, заполненных воздухом. Скважность зерновых масс способствует передаче теплоты конвекцией, перемещению влаги через зерновую массу в виде пара. Через между-зерновые промежутки осуществляются сушка, активное вентилирование и газация зерна. Скважность зерновых кормов равна 50...70 % [12].

Сыпучесть — это способность зерна и зерновой массы перемещаться по поверхности, расположенной под определенным углом к горизонту. Правильно используя это свойство и применяя соответствующие устройства и механизмы, можно полностью избежать затрат ручного труда при перемещении зерновых масс нориями, конвейерами и пневмотранспортными установками, самотеком, загрузке в различные по размерам и форме транспортные средства (автомшины, вагоны, суда) и хранилища (закрома, склады, траншеи, силосы элеваторов).

Сыпучесть зерновой массы характеризуется углом трения, или углом естественного склона. Угол трения — наименьший угол между основанием и склоном насыпи, при котором зерновая масса начинает скользить по поверхности. При скольжении зерна по зерну его называют углом естественного склона, или углом скатывания.

Влажность важный физико-химический показатель, определяющий содержание влаги в зерне. Наилучшая сохранность зерна обеспечивается при

влажности не более 16 % [12].

Механические характеристики имеют большое значение при обосновании режимов работы дробилок кормов и определении энергозатрат на дробление - это твёрдость, прочность, пластичность, вязкость, удельная работа, деформация. Наибольшей твёрдостью обладают зёрна кукурузы и ячменя, а наименьшую твёрдость имеет овёс. Наибольшую прочность имеет ячмень [12].

1.3 Обзор конструктивно-технологических схем молотковых дробилок зерна.

В технологии приготовления кормов самым распространённым и важным процессом является измельчение, обусловленное требованиями физиологии животных. В результате измельчения образуется множество частиц с высокоразвитой поверхностью, что способствует ускорению процессов пищеварения и повышению усвояемости питательных веществ. За счёт введения в состав комбинированных кормов качественно измельченного зерна продуктивность животных повышается на 10 – 15 % [1]. Основные способы организации технологического процесса измельчения кормов представлены на рис. 1.1 [11].

Дробилка — это машина для дробления, то есть разрушения различных материалов для уменьшения их геометрических размеров. Прочные и абразивные материалы дробят методом раздавливания, прочные и вязкие — методом раздавливания с одновременным истиранием, а мягкие и хрупкие — раскалыванием и ударом.

По размеру дробления дробилки разделяют: для крупного дробления (100-300 мм.), среднего (25-100 мм.) и мелкого (5-25 мм.) дробления.

Виды дробилок по типу применения:

- дробление твердых горных пород,
- дробление мягких горных пород,
- дробление отходов металлургического производства,
- дробление древесины,
- дробление полимеров, пластмасс,
- дробление твердых бытовых отходов (ТБО),
- дробление органических отходов.

В зависимости от физико-химических свойств дробимого материала в конструкциях сепараторов используют различные принципы дробления:

раздавливание, истирание, разрезание, различные виды ударных воздействий (молотки, билы, отбойные плиты и т. д.).

По своей конструкции дробилки делятся на:

Шредеры.

Сепараторы ножевые используют для первичного дробления различных прочных отходов. Ножевые сепараторы выделяются от дробилок других типов высокой мощностью, низкооборотными приводами и огромным крутящим моментом, что позволяет успешно перерабатывать материалы с различной твёрдостью.

Ножевые сепараторы позволяют измельчать различные материалы (дерево, полимеры, резину, металл, ТБО) во фракцию от 20 мм до 100мм. Для дальнейшего измельчения необходимо использовать другие виды дробилок.

Дробилки роторно-ножевые.

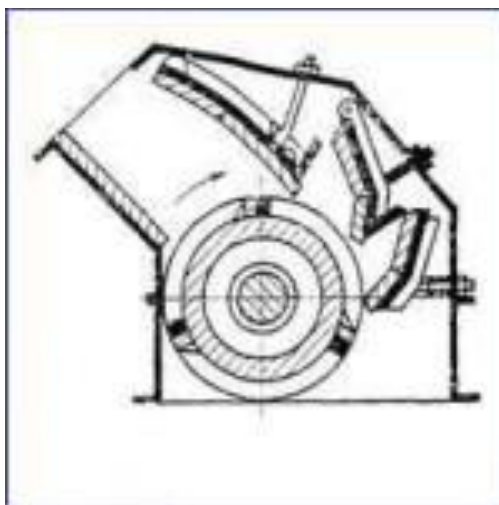


Рисунок 1.1- Роторно-ножевая дробилка

Роторно-ножевые сепараторы чаще всего используются для вторичной обработки материалов.

Дробилки этого типа были распространены в СССР и выпускались под маркой ИПР — «измельчитель пластмасс роторный». Они и сейчас производятся но не большими партиями, но большинство импортных аналогов значительно их превосходит.

Дробление в роторно-ножевом сепараторе осуществляется методом удара ножами, жёстко установленными на вращающемся роторе. Расположение ротора может быть как горизонтальным, так и вертикальным, зависит от предназначения модели сепаратора.

Роторно-ножевые сепараторы используют для вторичной обработки материалов (полиэтилена высокого давления (ПВД), полиэтилена низкого давления (ПНД), ПВХ, полистирола и его сополимеров, полипропилена, ПЭТ, различных полиамидов и других термопластов), а также резиновых отходов и неабразивных реактопластов.

Щековые дробилки

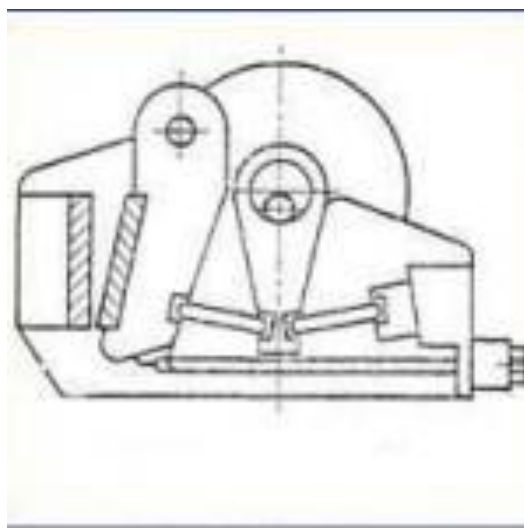


Рисунок 1.2 – Щековая дробилка

Сепарирование в щёковом сепараторе осуществляется сдавливанием данного материала между двумя прямоугольными пластинами. Материал измельчается способом сдавливания. Одна плита не движется и закреплена неподвижно, а другая совершает пульсирующие движения. При столкновении поверхностей плит материал сдавливается, а при отходе движущейся плиты выпадает из сепаратора.

Щековые сепараторы назначены для дробления наиболее непростых материалов. Они применяются как одни, так и в паре с конусными сепараторами, что позволяет сильно уменьшить конечную фракцию измельчаемого материала. Щековые сепараторы применяется при начальной обработке сложных минеральных и абразивных материалов, и при измельчении железобетона, асфальта, строительного камня.

Щёковые сепараторы используются в таких отраслях, как: горнорудной, металлургической, производствах строительных материалов. Их можно использовать для дробления хрупких материалов (разные руды, строительный камень, железобетон, стекло, керамика).

Конусные дробилки

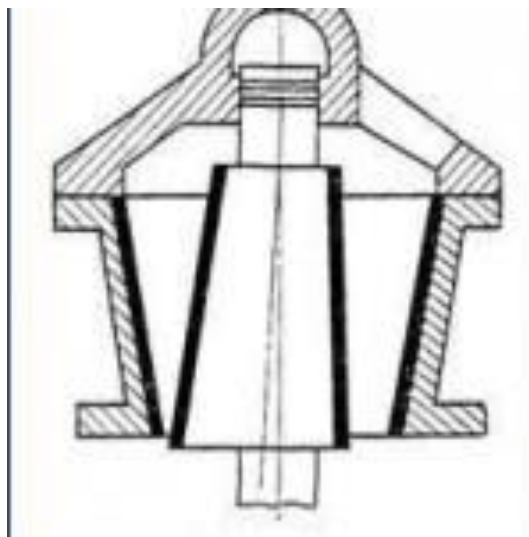


Рисунок 1.3 – Конусная дробилка

Сепарирование в конусной дробилке осуществляется раздавливанием измельчаемого материала между двумя конусами, расположенными зеркально один внутри другого.

В конусных сепараторах измельчение осуществляется внутри неподвижной стационарной конусной чаше, конусом, совершающим циркуляционное движение качания. В момент приближения данных конусов материал раздавливается, разламывается изгибом и падает вниз при отходе конуса.

Конусные сепараторы желательно использовать для дробления абразивных, прочных и твёрдых строительных материалов.

Регулировка гранулометрического состава производится изменением зазора между конусами и подбора наилучшей амплитуды колебаний дробящего конуса.

Валковые дробилки

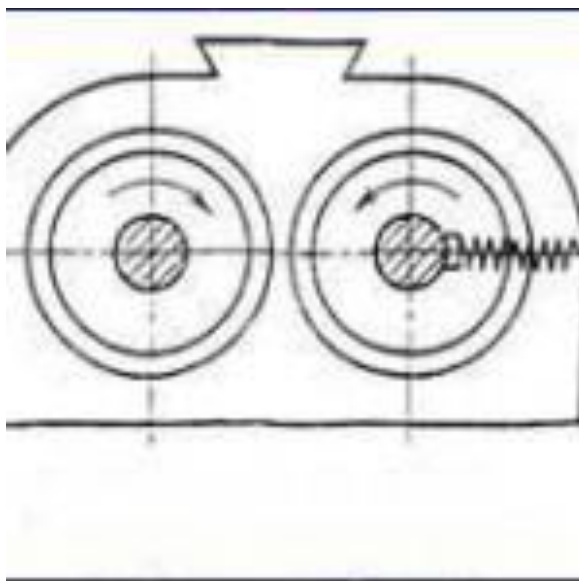


Рисунок 1.4 – Валковая дробилка

Дробление в валковом сепараторе осуществляется сжиманием поступающего материала между двумя вращающимися валками или одним валком и неподвижно закрепленной плитой.

В валковые сепараторы измельчают материал затягивая силами трения и сдавливания между двумя параллельными цилиндрическими валками,

вращающимися с равной скоростью навстречу друг другу. Валки затягивают кусок материала, если диаметр валка приблизительно в 25 раз больше размера измельченного материала.

Молотковые дробилки

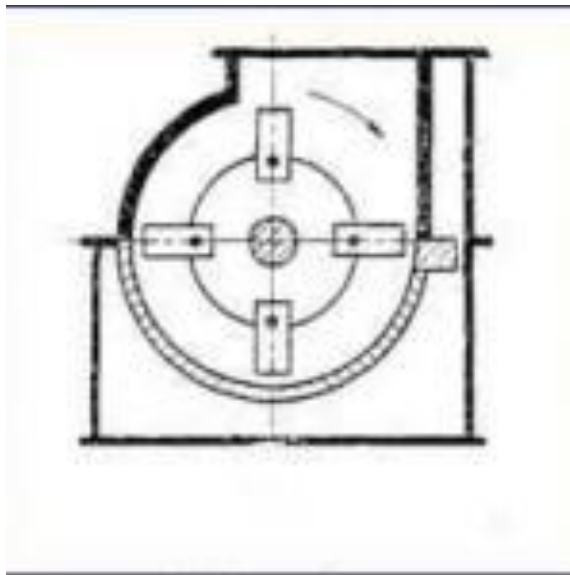


Рисунок 1.5 – Молотковая дробилка

В молотковой дробилке сепарирование осуществляется ударами молотков, шарнирно установленных на крутящемся роторе и дополнительно, измельчаемый материал разрушается ударами о плиты корпуса дробилки.

Молотковый сепаратор предназначен для дробления волокнистых и с низким показателем твёрдости материалов .

Молотковые сепараторы в основном используются при переработке различных отходов, стекла и стеклобоя, керамики, кирпичной крошки, минеральных материалов, солей, отходов электротехники, также используются в сельском хозяйстве. Гранулометрический состав регулируется выбором оптимального размера разгрузочного сита, количества и формы молотков и регулировки частоты вращения ротора.

В технологических линиях по приготовлению кормов для животных в основном применяются дробилки ударного действия – молотковые дробилки. Простота конструкции, высокая надежность, низкая металлоемкость устройства и простой способ регулирования степени измельчения готового продукта

позволяют использовать молотковые дробилки во многих отраслях промышленности и сельскохозяйственного производства [3,5,30].

Технологические схемы измельчителей предусматривают снижение энергозатрат, улучшение качества помола и механизацию загрузки и разгрузки дробильной камеры. Организация рабочего процесса молотковой дробилки с установкой решета непосредственно в камере дробления обладает рядом недостатков. В дробильной камере измельчённый материал доводят до требуемой степени измельчения, после чего его удаляют. При этом образуется большое количество пылевидных частиц, а наличие циркулирующей нагрузки в дробильной камере увеличивает энергозатраты. Структурная схема процесса такой дробилки приведена на рисунке 1.6а и называется схемой с открытым циклом.

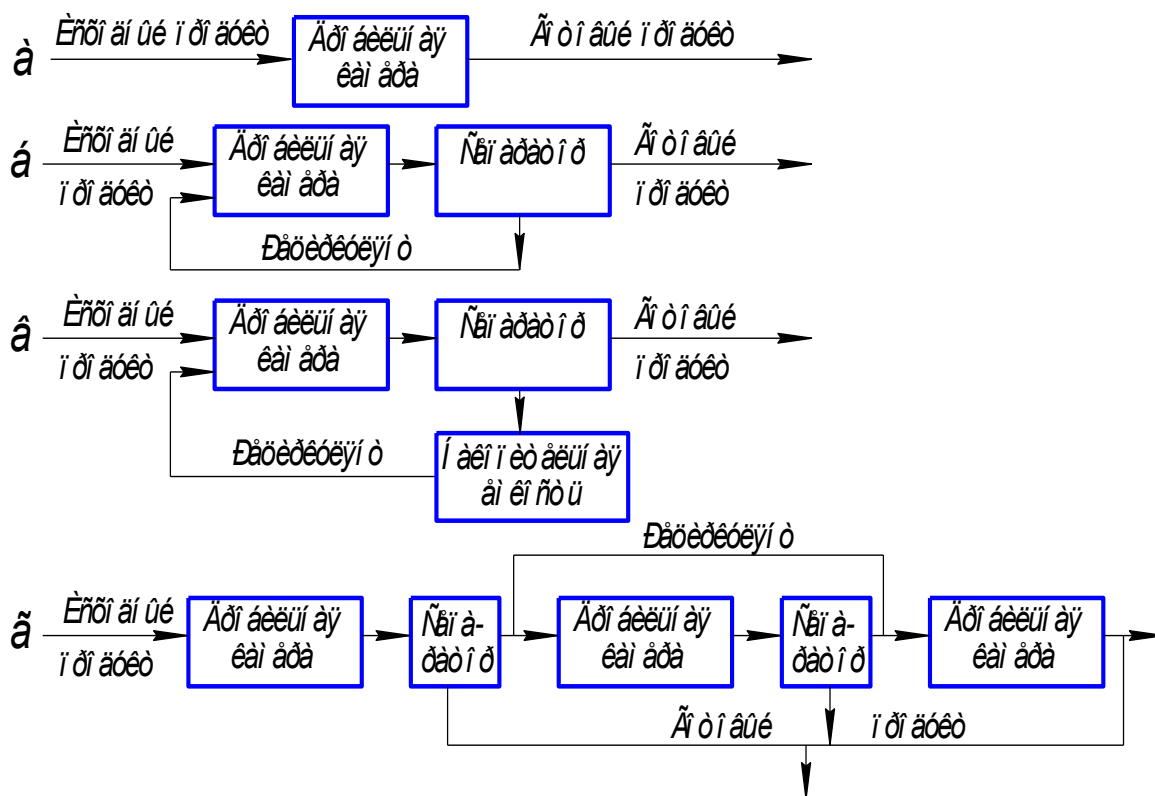


Рисунок 1.6 – Структурные схемы технологического процесса измельчителей кормов: а – с открытым циклом, б – с рециркуляцией, в – с рециркуляцией и наличием накопительной емкости рециркулянта, г – с многостадийной рециркуляцией

Организация рабочего процесса в дробилке с рециркуляцией материала (рис.1.6 б) позволяет значительно снизить образование пылевидных частиц за счёт установки сепаратора вместо решет. Сепараторы различного типа (решётные, пневматические, инерционные, комбинированные) делят измельчаемый материал на две фракции – готовый продукт и недоизмельчённый (рециркулянт). Рециркулянт после сепаратора направляется на доизмельчение в дробильную камеру. Несмотря на то, что в камеру дробления поступает как исходный продукт, так и рециркулянт, все же происходит переизмельчение материала. Этот недостаток устранён при организации процесса измельчения, когда исходный и недоизмельченный продукт поступают в дробильную камеру поочередно за счёт накопительной ёмкости рециркулянта (рис. 1.6 в). Недостатком этой схемы является нарушение непрерывности технологического процесса.

Схема работы дробилки, представленная на рис. 1.6г, даёт возможность не смешивать исходный продукт и рециркулянт в дробильной камере за счет его разделения по длине на ряд параллельных секций, а также использования нескольких независимых сепараторов. Основным недостатком данной технологической схемы является то, что возникает необходимость в использовании дополнительного оборудования, вследствие чего происходит увеличение себестоимости готового продукта.

Кроме того, при такой схеме измельчения в готовом продукте после дробления остается более 5 % неразрушенных зерен, которые практически не усваиваются ни одним видом животных. По существу, данная схема дробления зерна приводит к прямым потерям, концентрированных кормов [47].

В настоящее время в измельчении кормов наиболее часто применяются молотковые дробилки закрытого типа, в основном дробилки с сепарирующим решетом, установленным непосредственно в дробильной камере. Это дробилки марок КДУ-2, КДМ-2, КДМ-3, ДКМ-5 и другие [13,31,32,33,34]. Наиболее часто на предприятиях используют дробилки ДКМ-5, КДУ-2 (рис. 1.7 а,б) в основном из-за их высокой надежности и универсальности. Дробилка КДУ-2 позволяет

дробить зерно, кукурузные початки, а также измельчать сочные корма (траву, силос, корнеклубнеплоды) и грубые корма. Но наряду с преимуществами эти дробилки имеют и ряд недостатков: во-первых, при попадании в камеру дробления инородных предметов (камней, металлических предметов) сепарирующие решета, а иногда и молотки, как правило, выходят из строя или интенсивно изнашиваются, во-вторых, более крупные частицы зерна под действием центробежных сил, как правило, перекрывают выход частицам, достигшим необходимых размеров, что приводит к несвоевременному отводу измельченных частиц и, как следствие, интенсивному образованию мучной пыли, износу дек, решёт и молотков, а также повышенному расходу энергии.

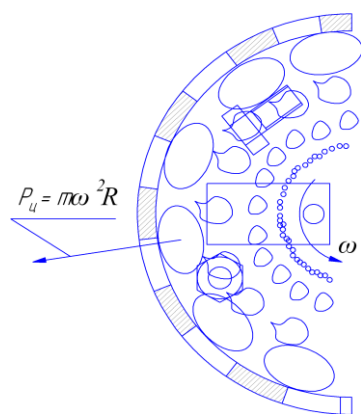
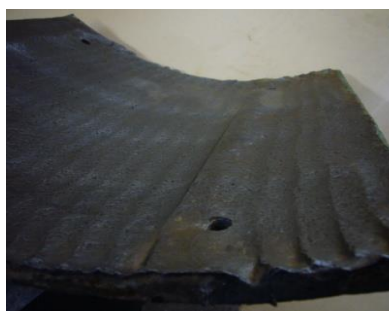


Рисунок 1.7. – Схема дробления в камере измельчения дробилок закрытого типа



а – молотки



б – дека



в – сепарирующее
решето

Рисунок 1.7 – Изношенные рабочие органы молотковой дробилки зерна

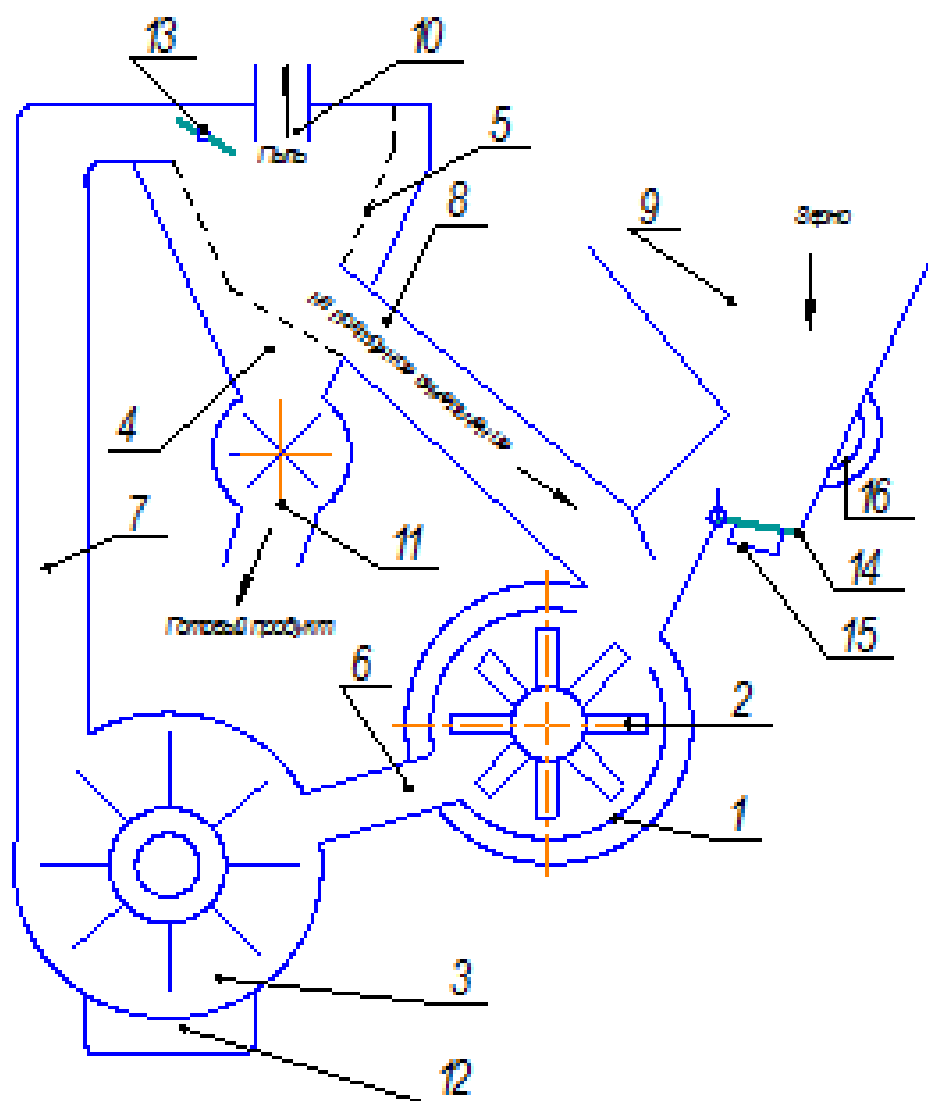


Рисунок 1.8 – Схема дробилки.

1-дробильная камера; 2-ротор; 3-вентелятор-швырялка; 4-циклон;
 5-внутренняя часть циклона; 6 и 7-зернопроводы; 8-кормопровод;
 9-загрузочный бункер; 10-пылепровод; 11-шлюзовой затвор; 12-ловушка
 для твердых включений; 13-направляющая заслонка; 14-виброционный грохот;
 15-вибропривод; 16-магнит.

На основании изложенного следует, что технологические и конструктивные параметры молотковых дробилок требуют совершенствования с целью снижения удельных энергозатрат на процесс измельчения зерна, улучшения качества получаемого продукта и повышения ресурса работы рабочих органов дробилок.

1.4 Анализ теоретических исследований.

Распределения частиц твердой фазы при пневмовибрационной сепарации представляют большую трудность для исследования, т.к. они динамичны, находятся под влиянием большого количества факторов и происходят в маленьком масштабе. Одним из вариантов разрешения этой проблемы является, предложенное в работе [17] численное моделирование, которое сочетает в себе динамику, точность и рассмотрение широкого спектра деталей. Разработана компьютерная модель для моделирования кинетики взаимодействия фаз, которая базируется на дискретных элементах.

В роли прототипа для виброуловителя примесей может быть следующая система: бункер - вибрационный лоток, приводящийся в колебательные движения тем или иным способом. Наиболее часто лоток соединен с бункером с помощью плоских пружин или шарниров и приводится в колебательные движения кривошипным механизмом или электромагнитами. Колебания лотка активизирует сыпучий зернистый материал, поведение которого можно уподобить поведению вязкой жидкости. Так как в случае сыпучего материала нарушаются некоторые допущения, которые принимаются при определении понятия вязкости жидкости или газа, то многие исследователи сыпучую среду материала под воздействием вибрации представляют, как “псевдожидкость”. [35] Перемещение слоя материала исследуем при допущениях, что дно вибрирующего лотка представляет собой плоскость, которая совершает гармонические колебания. Направление колебаний составляет угол β к плоскости. Сама плоскость наклонена под углом α к горизонту. Этим отличиям способствует форма и размер частиц, образующих слой, влажность частиц, их упругие свойства, толщина и воздухопроницаемость, характер взаимодействия материала, из которого состоит слой, и материала поверхности, внутреннее трение и силы взаимодействия между частицами. Эти свойства слоя начнут проявлять себя при его движении, как только его толщина станет более, чем размер одной частицы. [35]

Все факторы, влияющие на движение слоя, были представлены силой Φ сопротивления движению, пропорциональной вибрационной скорости,

$$\Phi = mkA\omega \cos \omega t.$$

Направление действия силы трения F зависит от направления относительной скорости движения слоя, и это приводит к появлению различных видов перемещения слоя: движение вместе с плоскостью (остановку), движение "по" и "против" направления оси абсцисс и движение вне плоскости. [35] Для случая, когда слой встречается с плоскостью в момент выполнения условий отрыва $\omega t_n - \omega t_0 = 2\pi$, получим оценку вибрационного ускорения, реализующего указанный режим: [35]

$$\frac{A\omega^2}{g} \cos \omega t_0 \sin \beta \geq \pi.$$

Производительность вибрационного лотка питателя зависит от следующих параметров, расположенных в порядке приоритета: вибрационной скорости $A\omega$, вибрационного ускорения $A\omega^2$, угла направления колебаний β , угла наклона дна лотка к горизонту α , поперечного сечения потока сыпучего материала на лотке S , угла трения f сыпучего материала о материал лотка [35]. Эксперименты показали, что коэффициент истечения θ при различных частотах колебаний не зависит от наполнения H бункера. Отсюда можем сделать вывод, что принятые допущения о характере течения мелкозернистого материала, находящегося под воздействием вибрации, как "псевдожидкости" верны.

После обработки результатов экспериментальных исследований критериальное уравнение представлено в виде, приближенном к физическому описанию процесса перемещения под воздействием вибрации для частиц с эквивалентным диаметром $d_e = 2,75 \cdot 10^{-3}$ м: [35]

$$q_r = 0,375 A^2 (A\omega \cos \beta) \left(\frac{g \cos(\varphi - \alpha)}{A\omega^2 \sin \beta \cos \varphi} \right)^{-0,2} \left(\frac{S}{A^2} \right)^{1,08} \sin^{0,16} \beta \cos^{0,76} \beta.$$

На производительность лотка оказывает влияние диаметр частицы. Для диаметров частиц от 0,1 до 3 мм зависимость производительности лотка от размеров частиц хорошо описывается моделью [35]

$$q = \frac{1}{30,9 - 34,7d_e^{0,026}} q_r.$$

Прямое решение поставленной задачи теоретического обоснования параметров виброуловителя возможно только в плане определения производительности вибролотка, а размеры лотка, точнее рабочая её часть, необходимо определить с учётом скорости осаждения более плотных примесей при поступательном движении зернового материала под действием вибрации.

Наиболее близким к решению поставленных цели и задач являются исследования, проведённые Гортинским В.В. и др. [41]. Предложенная методика достаточно проста в определении движения зернового материала по вибролотку и начинается с определения параметра z_0 , характеризующего режим движения частицы:

$$z_0 = \frac{g \cdot \cos \alpha}{A \cdot \omega}. \quad (1.1)$$

Затем определяется коэффициент кратности периода полёта частицы:

$$p' = \frac{1}{2\pi} \left(\sqrt{\frac{1}{z_0^2} - 1} + \sqrt{\frac{1}{z_0^2} - 4} \right). \quad (1.2.)$$

Средняя скорость частицы:

$$v = A\omega(\sqrt{1 - (\pi p' z_0)^2} + \frac{2-\lambda}{\lambda} \pi p' z_0 \operatorname{tg} \alpha), \quad (1.3)$$

где λ - коэффициент мгновенного трения при ударе (для зерносмеси - 0,8.[41]).

Если изменить направление угла наклона лотка при том же направлении угловой скорости, то второе слагаемое в скобках следует представить со знаком «-» [9a]:

$$v = A\omega(\sqrt{1 - (\pi p' z_0)^2} - \frac{2-\lambda}{\lambda} \pi p' z_0 \operatorname{tg} \alpha) \quad (1.4)$$

Однако, данная методика позволяет найти скорость движения зерна по вибролотку, но не позволяет в полной мере теоретически описать движение частицы примеси в зерновом материале, так как не учитывает разницу плотностей примесей.

Таким образом, анализ исследований показал необходимость теоретического обоснования конструктивных и технологических параметров вибрационного отделителя неорганических примесей из зернового вороха.

1.5 Цель и задачи исследований.

Цель исследования. Целью работы является повышение эффективности работы молотковых дробилок зерна путём совершенствования процесса отделения неорганических примесей из зернового вороха.

В соответствии с поставленной целью в работе решаются следующие задачи:

- на основании анализа существующих схем и устройств разработать конструктивно - технологическую схему вибрационного уловителя примесей;
- теоретически обосновать конструктивные и технологические параметры виброуловителя;
- экспериментально определить оптимальные параметры виброуловителя;
- определить экономическую эффективность использования виброуловителя.

2 Теоретическое обоснование конструктивно-технологических параметров вибрационного отделителя примесей.

2.1 Конструктивно-технологическая схема вибрационного отделителя неорганических примесей.

Теоретически можно предположить, что дробильный барабан со временем вызывает вибрацию самой дробилки из-за переменной нагрузочной характеристики. Направление вибрации должно быть перпендикулярно оси вращения дробильного барабана. Для моделирования вибрации дробилки разработана конструктивно - технологическая схема вибросепаратора, представленного на рисунке 2.1. Назначение данного устройства состоит в отделении неорганических примесей из зернового вороха, поступающего в дробильную камеру.

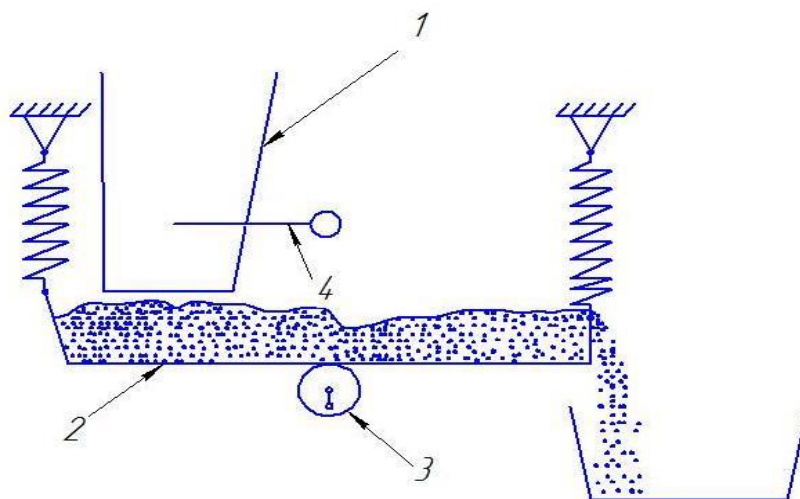


Рис. 2.1. - Технологическая схема: 1 – бункер; 2 – лоток; 3 – вибратор; 4 – заслонка.

Принцип работы вибрационного уловителя неорганических примесей состоит в следующем: зерно вместе с примесями из бункера 1 через заслонку 4 поступает на вибрлоток 2 и под действием вибрации поступает через порожек в приёмный бункер дробилки. Под действием вибрации поток зерна можно представить, как "псевдожидкость", поэтому примеси, которые имеют большую плотность, чем у зернового вороха, оседают на дно вибрлотка и удерживаются порожком от попадания в бункер дробилки. Разработанная конструкция позволяет регулировать в широких пределах значимые факторы, необходимые для теоретического и практического обоснования параметров вибросепаратора: амплитуда, частота, угол наклона вибрлотка и др. Из рабочего процесса становится очевидным необходимость определения минимальной длины рабочей части вибрлотка или минимального расстояния от бункера до порожка. Для этого необходимо теоретически и практически обосновать параметры вибросепаратора, что в дальнейшем позволит обоснованно разработать устройство для отделения примесей к конкретным производственным устройствам.

2.2 Исследование движения частицы по вибрлотку.

В качестве рабочей гипотезы было принято, что зерновой материал при движении в лотке под воздействием вибрации представляет собой "псевдосжиженный слой" или "псевдожидкость". Такая гипотеза позволяет применить гидромеханические законы течения материала по вибрационному лотку [35]. Если принять рабочую гипотезу, то частица примеси в вибрлотке в двух направлениях (рисунок 2.2): с течением зернового материала по лотку со скоростью V_T и под действием напора H материала в бункере и скоростью погружения частицы V_{II} под действием Архимедовой силы. Для расчета движения частицы примеси ставим наихудшее условие: в начальный момент частица находится на поверхности зернового вороха на искомом расстоянии L_{min} - это расстояние от бункера, на котором частица примеси гарантировано достигнет дна.

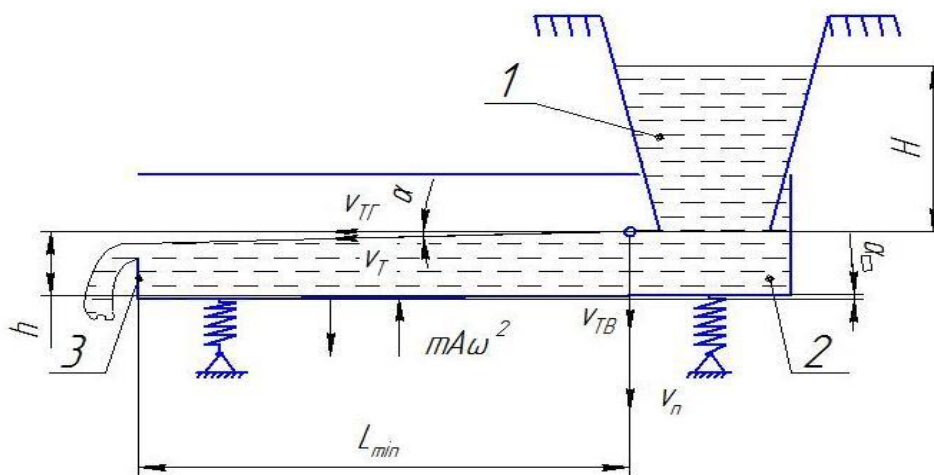


Рисунок 2.2. Схема к расчёту: 1 - бункер; 2 - вибрлоток; 3 - порожек; $m \times A \times \omega^2$ - сила инерции груза массой m вращающегося с угловой скоростью ω , обеспечивающая амплитуду колебаний A ; V_{TH} , V_{TB} - соответственно, горизонтальная и вертикальная составляющие скорости течения зернового материала, м/с; V_{II} - скорость погружения частицы примеси, м/с; α - угол

наклона вибрлотка к горизонту, град.; h - толщина слоя зернового материала, м.

Кроме того, необходимо уточнить, что сила вибросепарации воздействует на вибрлоток по всей его рабочей части и она должна быть достаточной для создания "псевдосжиженного" слоя и недостаточной для выбрасывания частицы примеси плотностью $\gamma_{\text{п}}$ из зернового потока. Угол между скоростями v_{T} и $v_{\text{ТТ}}$, зависящий от угла внутреннего трения зерен, можно принять равным углу наклона вибрлотка α .

Тогда, согласно работе [41], при совпадении направления колебаний и направления течения "псевдожидкости":

$$v_{\text{T}} = A \cdot \omega \left(\sqrt{1 - (\pi \cdot p' \cdot z_0)^2} + \frac{2-\lambda}{\lambda} \cdot \pi \cdot p' \cdot z_0 \cdot \operatorname{tg} \alpha \right). \quad (2.1)$$

где: p' - коэффициент кратности периода полета;

z_0 - параметр характеризующий режим относительного движения частицы ($z_0 > 1$ – безотрывные, $z_0 < 1$ – с подбрасыванием) [9а];

λ – коэффициент мгновенного трения при ударе (для зерно - смеси $\lambda = 0,8$ [41]).

Коэффициент p' определяется по формуле [41]:

$$p' = \frac{1}{2\pi} \left(\sqrt{\frac{1}{z_0^2} - 1} + \sqrt{\frac{1}{z_0^2} - 4} \right). \quad (2.2)$$

В свою очередь z_0 определяется по формуле:

$$z_0 = \frac{g \cdot \cos \alpha}{A \cdot \omega^2} \quad (2.3)$$

Подставив выражения (2.2) и (2.3) в формулу (2.1) получим теоретическую модель движения зернового материала по вибрлотку.

$$v_{\text{T}} = A \cdot \omega \left[\sqrt{1 - 0,25 \cdot \frac{g \cdot \cos \alpha}{A \cdot \omega^2} \cdot \left(\sqrt{\left(\frac{A \cdot \omega^2}{g \cdot \cos \alpha} \right)^2 - 1} + \sqrt{\left(\frac{A \cdot \omega^2}{g \cdot \cos \alpha} \right)^2 - 4} \right)^2 + \frac{(2-\lambda) \cdot g \cdot \sin \alpha}{2\lambda} \left(\sqrt{\left(\frac{A \cdot \omega^2}{g \cdot \cos \alpha} \right)^2 - 1} + \sqrt{\left(\frac{A \cdot \omega^2}{g \cdot \cos \alpha} \right)^2 - 4} \right)} \right] \cdot \text{м/с} \quad (2.4)$$

В соответствии со схемой (рисунок 2.2) минимальное значение рабочей части вибрлотка L_{min} можно определить

$$L_{\min} = v_T \cdot t_T \quad (2.5)$$

где t_T - время движения частицы примеси на расстояние L_{\min} , соответствует времени погружения.

Для определения времени t_T можно использовать формулу Стокса:

$$v_{\Pi} = \frac{g \cdot d^2 \cdot (\rho_{\Pi} - \rho_{\PiЖ})}{18 \cdot \mu} \quad (2.6)$$

где d – диаметр частицы примеси, м;

ρ_{Π} и $\rho_{\PiЖ}$ – соответственно, плотность примеси и псевдосжиженного слоя, кг/м³;

μ - динамическая вязкость зерно – смеси (0,25-0,35 Па·с) [43]

Из расчетной схемы видно, что направление векторов скорости v_{Π} и $v_{ТВ}$ совпадают, что способствует более быстрому погружению примеси в «псевдожидкость». Поэтому при определении времени t_T необходимо найти сумму скоростей:

$$v_{\Pi} + v_{ТВ} = \frac{h}{t_T} \quad (2.7)$$

Поэтому
$$t_T = \frac{h}{v_{\Pi} + v_t \cdot \sin \alpha} \quad (2.8)$$

Подставляя значения в формулу (2.8) можно определить время погружения примеси и затем рассчитать минимальную длину рабочей части вибротолка L_{\min} . Конечная формула получается достаточно громоздкой. Можно допустить вариант, когда угол наклона вибротолка к горизонту $\alpha=0$. Тогда правая часть выражения (2.4) обнулится и время погружения будет:

$$t_T = \frac{h}{v_{\Pi}} \quad (2.9)$$

И значение L_{\min} определится по формуле:

$$L_{\min} = \frac{18 \cdot \mu \cdot A \cdot \omega \cdot h \sqrt{1 - 0,25 \cdot \frac{g}{A \cdot \omega^2} \cdot \left(\sqrt{\left(\frac{A \cdot \omega^2}{g} \right)^2 - 1} + \sqrt{\left(\frac{A \cdot \omega^2}{g} \right)^2 - 4} \right)^2}{g \cdot d^2 \cdot (\rho_{\Pi} - \rho_{\PiЖ})}. \quad (2.10)$$

Таким образом значение L_{\min} зависит от многих факторов: параметров виброуловителя и физико – механических свойств зерновой массы.

Более удобным является приведённый ниже алгоритм расчета:

1. $z_0 = \frac{g \cdot \cos \alpha}{A \cdot \omega^2}$
2. $p' = \frac{1}{2\pi} \left(\sqrt{\frac{1}{z_0^2 - 1}} + \sqrt{\frac{1}{z_0^2 - 4}} \right)$
3. $v_T = A \cdot \omega \left(\sqrt{1 - (\pi p' z_0)^2} + \frac{2-\lambda}{\lambda} \cdot \pi \cdot p' \cdot z_0 \cdot \operatorname{tg} \alpha \right)$
4. $v_{\Pi} = \frac{g \cdot d^2 \cdot (\rho_{\Pi} - \rho_{\PiЖ})}{18\mu}$
5. $t_T = \frac{h}{v_{\Pi} + v_T \cdot \sin \alpha}$

Для $\alpha=0$ L_{\min} можно определить по формуле:

$$L_{\min} = A \cdot \omega \cdot \sqrt{1 - (\pi p' z_0)^2} \cdot \frac{18\mu \cdot h}{g \cdot d^2 \cdot (\rho_{\Pi} - \rho_{\PiЖ})}$$

Принятые переменные факторы:

- 1) d : 5; 15; 25; 35×10^{-3} м;
- 2) α : 0; 5; 10; 15; 20 градусов 0; -5; -10; -15; -20 градусов;
- 3) A : 0,1; 0,5; 0,9; 1,3; $1,5 \times 10^{-3}$ м;
- 4) ω : 100; 200; 300; 400; 600 с^{-1} ;
- 5) ρ_{Π} : 1000; 3000; 6000; 9000; 12000 кг/м^3 ;
- 6) $\rho_{\PiЖ}$: 400; 600; 800; 1000; 1200 кг/м^3 ;
- 7) μ : 0,2; 0,25; 0,3; 0,35; 0,4 $\text{Па} \cdot \text{с}$;
- 8) h : 5; 10; 15; 20; 25×10^{-3} м.

Таким образом, по полученному выражению (2.10) или приведенному алгоритму расчёта можно теоретически обосновать конструктивные и технологические параметры вибросепаратора для конкретных значений переменных и постоянных величин.

2.3 Обоснование конструктивных и технологических параметров вибротка.

В соответствии с поставленной целью необходимо определить минимальную рабочую длину вибротка L_{min} , при котором частица примеси достигает дна и в дальнейшем задерживается порожком. Поскольку на значение L_{min} оказывает большое количество факторов, часть из них принимаем фиксированные значения, а часть - переменные. Математическая модель (2.10) и алгоритм расчёта позволяет определить минимальную длину рабочей части вибротка с учётом всех факторов. Для примера, на рисунке 2.3 приведена зависимость скорости погружения от плотности примеси и её размера. Зависимости построены для фиксированных значений следующих величин:

Таблица 2.1. Зависимость скорости погружения примесей от их плотности и диаметра.

	$\rho_{п}=100$ 0 кг/м ³	$\rho_{п}=3000$ кг/м ³	$\rho_{п}=6000$ кг/м ³	$\rho_{п}=9000$ кг/м ³	$\rho_{п}=12000$ кг/м ³
d1=5мм	0	0,090833	0,227083	0,363333	0,499583
d2=15мм	0	0,8175	2,04375	3,27	4,49625
d3=25мм	0	2,270833	5,677083	9,083333	12,48958
d4=35мм	0	4,450833	11,12708	17,80333	24,47958

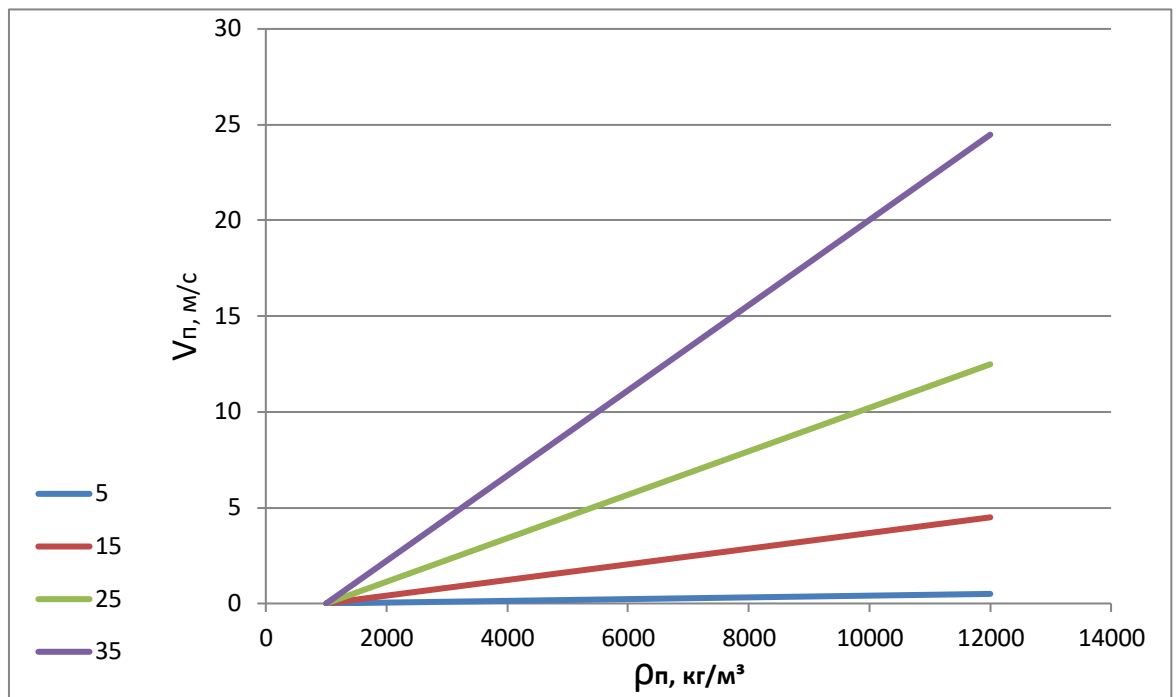


Рисунок 2.3 Зависимость скорости погружения от плотности примеси и её размера.

Из графика видно, что наихудшим условием погружения является меньший диаметр и меньшая плотность примеси.

Для примера, определим минимальную длину лотка L_{min} , для гравия, как менее плотного материала, со следующими параметрами:

$$\rho_p = 2700 \text{ кг/м}^3; d = 16 \text{ мм}.$$

$$\text{Параметры вибрации: } A = 2,9 \times 10^{-3} \text{ м; } \omega = 312,74 \text{ с}^{-1};$$

$$\text{Толщина слоя зернового вороха: } h = 0,1 \text{ м}.$$

$$L_{min} = 0,548 \text{ м}.$$

Расчетное значение длины лотка составляет 0,548 м

3 Программа и методика экспериментальных исследований.

3.1 Программа экспериментальных исследований.

1. Совершенствование конструктивно-технологической схемы молотковой дробилки зерна путем изменения конструкции уловителя примесей из зернового материала с использованием вибрации.
2. Экспериментальные исследования рабочего процесса вибрационного уловителя примесей с использованием методов однофакторного эксперимента.
3. Оптимизация параметров рабочего процесса виброуловителя неорганических примесей при измельчении зерна.

3.2 Методика экспериментальных исследований.

3.2.1 Приборы и оборудование.

Перечень приборов и аппаратуры приведён в таблице 3.1, а на рисунке 3.1 показаны некоторые приборы и средства измерения, использованные при проведении экспериментальных исследований.



Рисунок 3.1 – Приборы и оборудование.

Таблица 3.1 – Приборы и аппаратура, использованные в
экспериментальных исследованиях

Наименование	Марка	Количество	Назначение
Установка выходного напряжения	Б 5-7	1	Регистрация силы тока и напряжения
Весы лабораторные	Sartorius practum	1	Определение массы проб
Тахометр	DT-2234A	1	Определение частоты вращения
Секундомер	GSMART	1	Регистрация времени опыта
Цифровой фотоаппарат	NICON	1	Фотография материалов
Шумоанализатор спектра, виброметр портативный	ОКТАВА 110А	1	Определение частоты колебаний

3.2.2 Лабораторная установка.

В соответствии с конструктивно-технологической схемой (см. раздел 2.1) изготовлена лабораторная установка, общий вид которой приведён на рисунке 3.2.

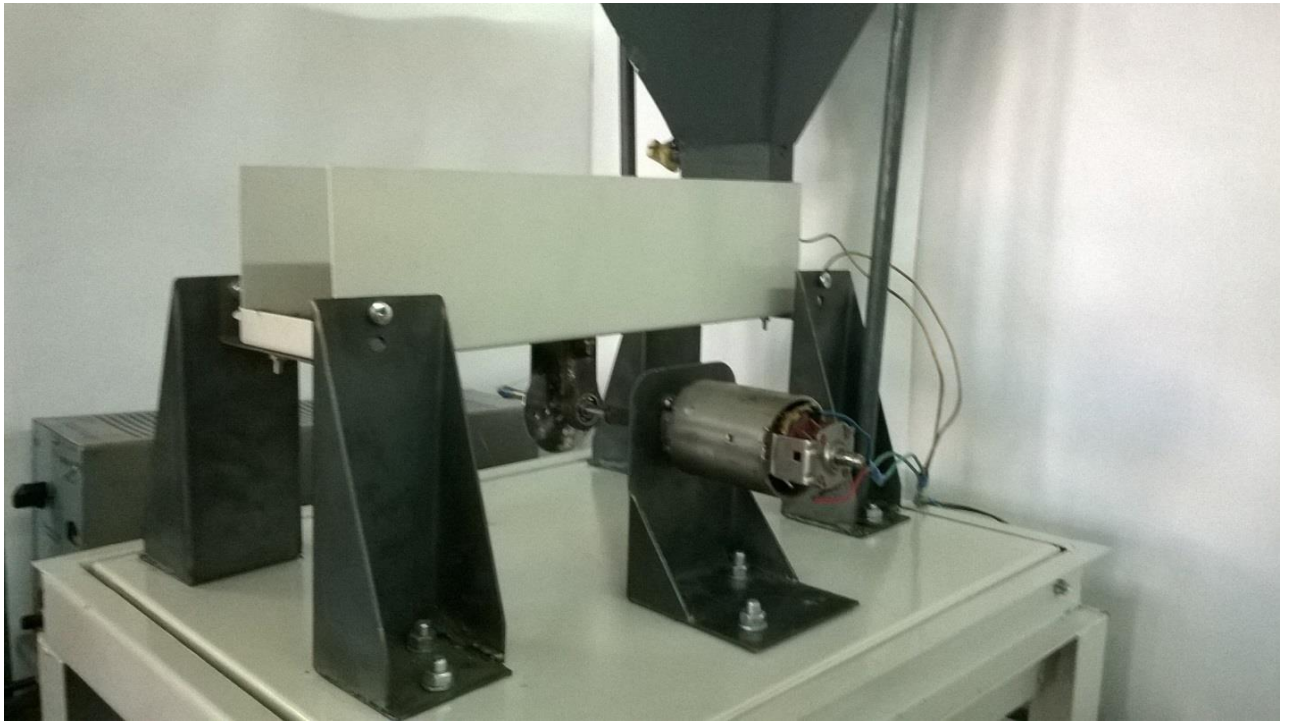


Рисунок 3.2. Общий вид лабораторной установки.

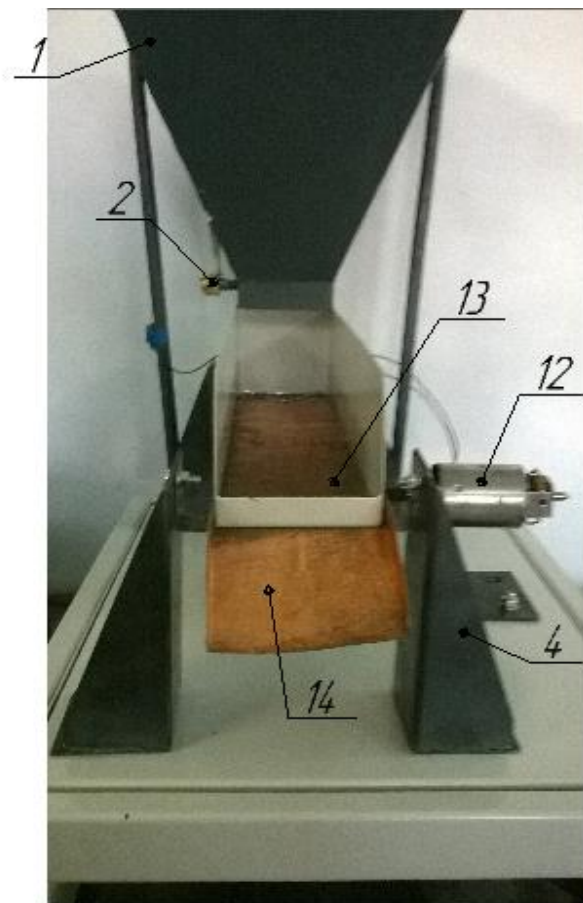
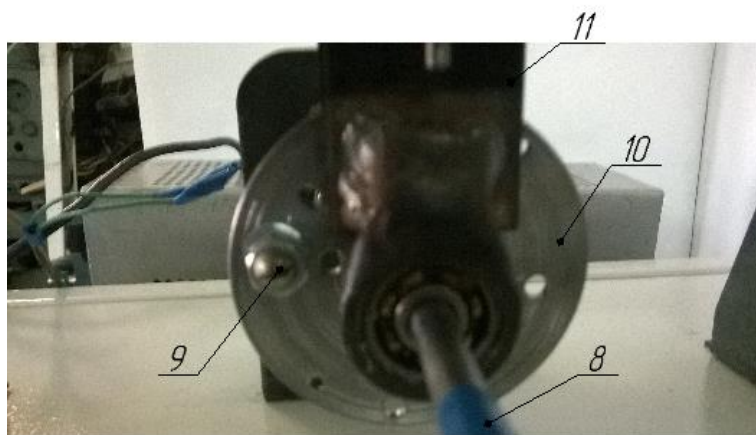
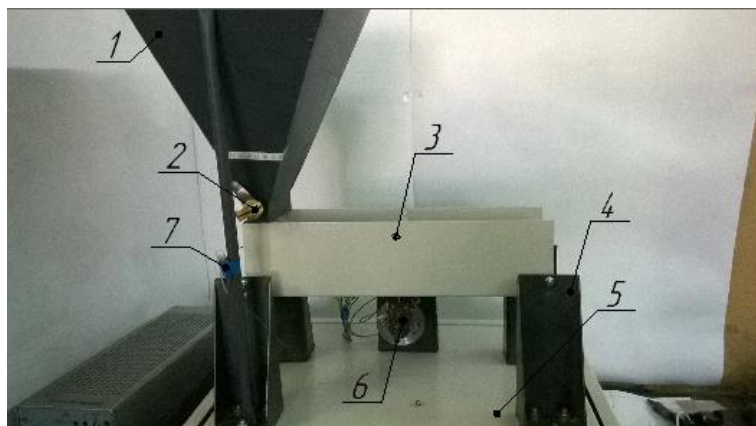


Рисунок 3.3 Устройство лабораторной установки:

1- загрузочный бункер; 2 – ручка заслонки; 3 - вибрлоток; 4 - стойка; 5 - основание; 6 - вибратор; 7 – контрольная лампа; 8 – вал вибратора; 9 – дисбаланс; 10 - диск; 11 – вилка корпуса; 12 - электродвигатель; 13 – контактная пластина; 14 – лоток.

На основании 5, с помощью стоек 4, установлен вибрлоток 3, на котором в нижней части закреплён вибратор 6. Вал вибратора 8 вращается на подшипниках качения, привод от двигателя постоянного тока 12 через установку выходного напряжения Б 5-7. На валу закреплён диск 10 с отверстиями, на разных расстояниях от центра вращения для крепления дисбаланса 9. На вибрлотке 3, сверху установлен загрузочный бункер 1 с заслонкой 2, для подачи зерна. На дне вибрлотка установлена контактная пластина 13, на выходе – лоток 14. К одной из стоек закреплена контрольная лампа 7.

Установка позволяет изменять угол наклона вибрлотка (рис 3.4), изменять частоту и амплитуду колебаний (рис 3.3), регулировать подачу зерна, измерить время погружения примеси до дна вибрлотка.

Подача зерна на вибрлоток осуществляется из подвешенного на штатив бункера (см. рисунок 3.3). Регулировка толщины зернового материала в вибрлотке осуществляется поднятием или опусканием бункера относительно дна.

При определении скорости погружения гравия замерялось время, в течении которого гравий скрывается в зерне.

Величину напряжения и потребляемый ток определялись при помощи вольтметра и амперметра установки выходного напряжения.

Опыты проводились в пятикратной повторности, затем рассчитывалось среднеарифметическое значение.



На рисунке 3.4 показано изменение наклона вибрототка.

3.2.3 Определение расхода мощности на работу вибросепаратора.

Электрическая мощность, потребляемая электродвигателем дробилки из электрической сети, определяется по формуле:

$$N_{эл} = IU, \quad (3.1)$$

где I – сила тока в электрической сети, А;

U – линейное напряжение в электрической сети, В;

Мощности (полезная) на валу ротора определяются по следующим выражениям:

$$N_{эф} = N_{эл} - N, \quad (3.2)$$

где N - мощность холостого хода, Вт.

Угловая скорость рассчитывалась по известной формуле после определения частоты вращения при помощи тахометра DT-2234А:

$$\omega = 2 \cdot \pi \cdot n. \quad (3.3)$$

3.2.4 Факторный анализ и выбор критериев оптимизации.

Исходя из обзора литературы [35,37,40,41,42,43]. по исследованию вибрационных установок на рабочий процесс влияет большое количество факторов: конструктивно-технологические - размеры, масса, амплитуда, частота, углы наклона вибрлотка, толщина зернового материала на вибрлотке и др. и физико-механические - размеры и форма зерна и примесей, их плотность, насыпная масса, коэффициенты трения, угол естественного откоса и др. Для упрощения исследований часть физико-механических факторов приняты из результатов исследований, проведённых ранее. Конструктивно-технологические факторы приняты исходя из логических соображений и возможности лабораторной установки и имеющихся приборов и средств измерения.

В качестве критерия оптимизации принята рабочая длина вибрлотка, которая гарантированно бы обеспечивала отделение примесей из зерновой массы.

3.3 Исследование параметров вибросепаратора без нагрузки.

3.3.1 Определение мощности холостого хода и частоты вращения вала вибратора.

При исследовании мощности холостого хода приняты следующие исходные параметры: установленная масса дисбаланса на вибраторе составляет $9,76 \times 10^{-3}$ кг и расположена на расстоянии 0,03 м от центра вращения, направление вращения вала вибратора - против часовой стрелки.

На установке Б 5-7, путем переключения режимов, устанавливалась скорость от 1900 до 2800 об/мин. После включения установки замерялся ток и частота вращения вала вибратора и по формуле 3.1 рассчитывалась мощность холостого хода. Результаты занести в журнал наблюдения.

3.3.2 Исследование скорости колебаний вибрационного лотка без нагрузки.

Скорость вибрации замерялась в нескольких взаимно перпендикулярных точках согласно схеме на рисунке 4.2. Места замеров указаны точками и цифрами, стрелками показано направление установки датчика виброметра портативного ОКТАВА-110А. Значения скорости вибрации по точкам 1...5 определено в плоскости **Y** (при этом точка замера 3 расположена над валом вибратора), а по точкам 6 и 7, соответственно, - по плоскостям **Z** и **X**. Результаты занести в журнал наблюдения.

3.4 Исследование параметров вибросепаратора под нагрузкой.

3.4.1 Физико-механические свойства исследуемых материалов.

В качестве исследуемого материала принято зерно овса, а примесей – гравий, так как он обладает наименьшей плотностью. Плотность определялась как вес примеси деленый на объём вытесненной жидкости из мензурки. Размеры измеряли штангенциркулем ШЦ – 125х0,1. Вес примесей определялся на весах лабораторных Sartorius practionum. Результаты занести в журнал наблюдения.

3.4.2 Определение скорости погружения примесей в зерновой ворох.

Скорость погружения примеси определяется следующим образом:

Устанавливалось скорость вращения на установке выходного напряжения Б 5-7 равное 2100 об/мин, включить установку. Открыть заслонку бункера. При этом масса и радиус расположения дисбаланса приняты как при исследовании виброуловителя без нагрузки. При установившемся режиме положить примесь на зерно возле бункера, засечь время выравнивания верхней точки гравия с плоскостью зернового потока. Замерить: расстояние, пройденное в горизонтальной плоскости, и диаметр гравия. Результаты занести в журнал наблюдения.

4 Результаты экспериментальных исследований вибрационного уловителя примесей.

4.1 Исследование параметров вибросепаратора без нагрузки.

4.1.1 Определение мощности холостого хода и частоты вращения вала вибратора.

При исследовании мощности холостого хода и частоты вращения вала вибратора приняты следующие исходные параметры: установленная масса дисбаланса на вибраторе составляет $7,41 \times 10^{-3}$ кг и расположена на расстоянии 0,03 м от центра вращения, направление вращения вала вибратора - против часовой стрелки.

Зависимость мощности холостого хода P_{xx} и частоты вращения вала вибратора n_{xx} от подаваемого напряжения на электродвигатель U_d приведены в таблице 4.1 и на рисунке 4.1.

Таблица 4.1. Зависимость мощности холостого хода P_{xx} и частоты вращения вала вибратора n_{xx} от подаваемого напряжения на электродвигатель U_d

№№, п/п	Напряжени е U_d , В	Сила тока I , А	Мощность P_{xx} , Вт	Частота вращения n_{xx} , с ⁻¹
1	15	6,9	103,5	19
2	18	7,1	127,8	24,17
3	21	7,5	157,5	30,33
4	24	8,5	204	35
5	27	9,1	245,5	38,33

Анализ таблицы 4.1 и рисунка 4.1. показывает, что с увеличением напряжения электрического тока происходит нелинейное увеличение мощности холостого хода и частоты вращения вала вибратора. В производственных

условиях дробилки зерна работают с частотой вращения вала двигателя или частотой колебаний $n_{xx} = 49,7 \text{ с}^{-1}$. Лабораторная установка не позволяет получить такую частоту колебаний, поэтому по полученным уравнениям регрессии определено напряжение, необходимое для определения параметров работы вибрационного отделителя примесей к конкретной дробилке зерна. Напряжение составило 34,53 В, при этом мощность холостого хода равняется 397,13 Вт.

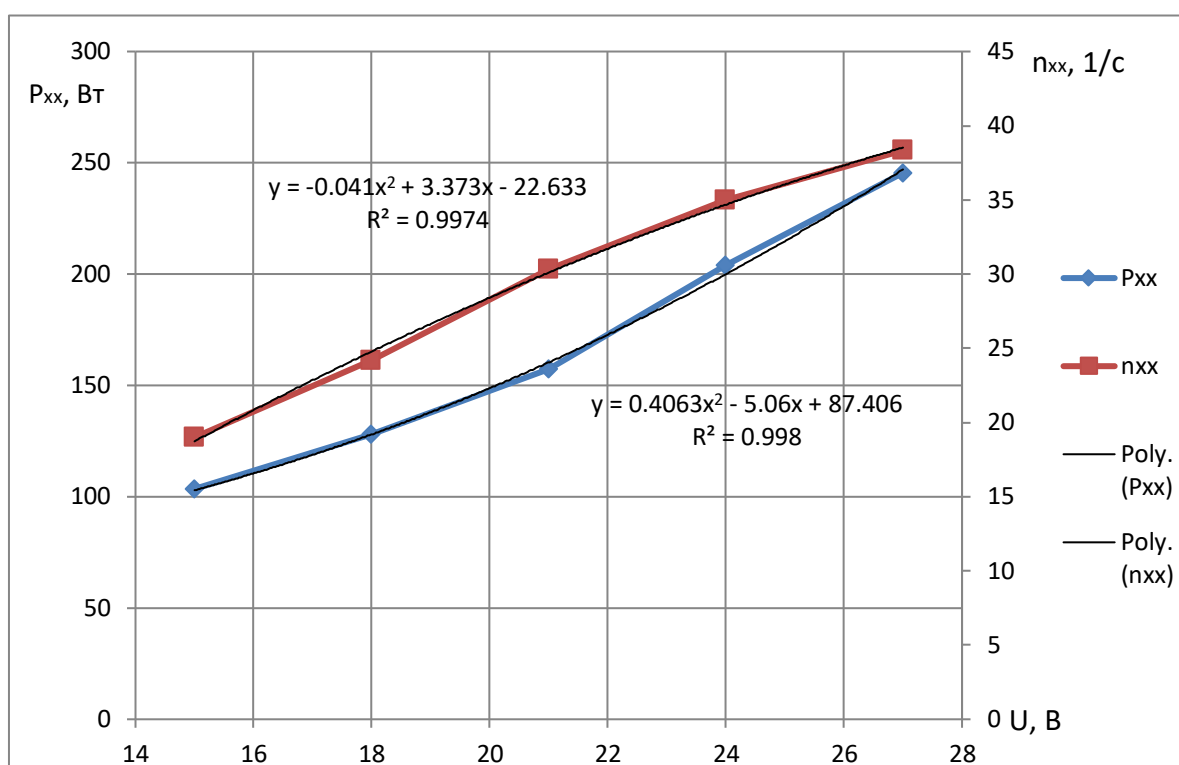


Рисунок 4.1. Зависимость мощности холостого хода P_{xx} и частоты вращения вала вибратора n_{xx} от подаваемого напряжения на электродвигатель U_d

4.1.2 Исследование скорости колебаний вибрационного лотка без нагрузки.

Зависимость скорости колебаний вибрации лотка $V_{\text{л}}$ от напряжения $U_{\text{д}}$ при тех же значениях исходных параметров приведены в таблице 4.2 и на рисунке 4.3. Значения скорости вибрации по точкам 1...5 определено в плоскости Y (при этом точка замера 3 расположена над валом вибратора), а по точкам 6 и 7, соответственно, - по плоскостям Z и X .

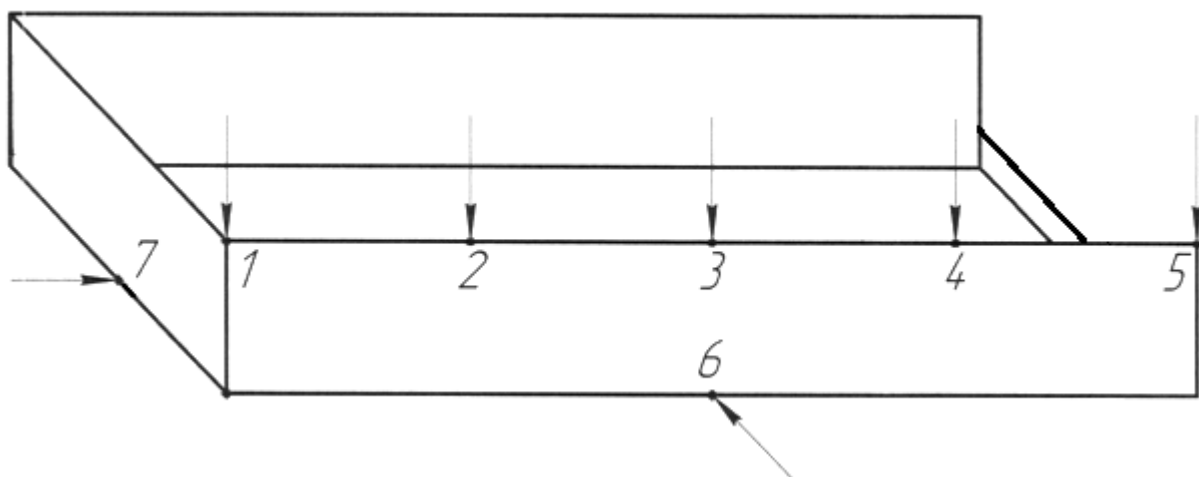


Рисунок 4.2. Схема замеров скорости вибрации лотка $V_{\text{л}}$

Таблица 4.2. Зависимость скорости вибрации лотка $V_{\text{л}}$ от подаваемого напряжения на электродвигатель $U_{\text{д}}$

№ п/п	Напряжение $U_{\text{д}}$, В	Скорость вибрации лотка $V_{\text{л}}$, м/с по точкам замера							
		1	2	3	4	5	средн. знач.	6	7
1	15	113,5	113,8	112,0	117,5	113,1	114,0	102,9	102,0
2	18	124,8	125,5	125,0	124,1	124,2	124,7	110,8	112,8
3	21	133,3	132,3	129,2	126,1	124,0	129,0	119,5	114,9
4	24	153,2	154,2	148,3	140,5	132,5	145,7	125,1	128,4
5	27	160,3	154,2	158,2	146,6	132,6	150,38	122,6	147,8

Как показывает анализ параметров (таблица 4.2) идёт устойчивое увеличение скорости вибрации с увеличением напряжения электрического тока (за исключением значения скорости в плоскости Z при напряжении 27 В). Вместе с тем, значения скорости вибрации в плоскости Y (точки замера 1...5)

имеют устойчивую тенденцию к снижению начиная с напряжения 21 В и точки замера 3, при этом отклонение от среднего значения меняется от 3,8 до 11,8 %. Более наглядно это видно на рисунке 4.3 и 4.4. Применительно к производственным условиям для частоты колебаний $n_{xx} = 49,7 \text{ с}^{-1}$ скорость вибрации составит 164,54 м/с (по рисунку 4.3 для среднего значения в плоскости Y)

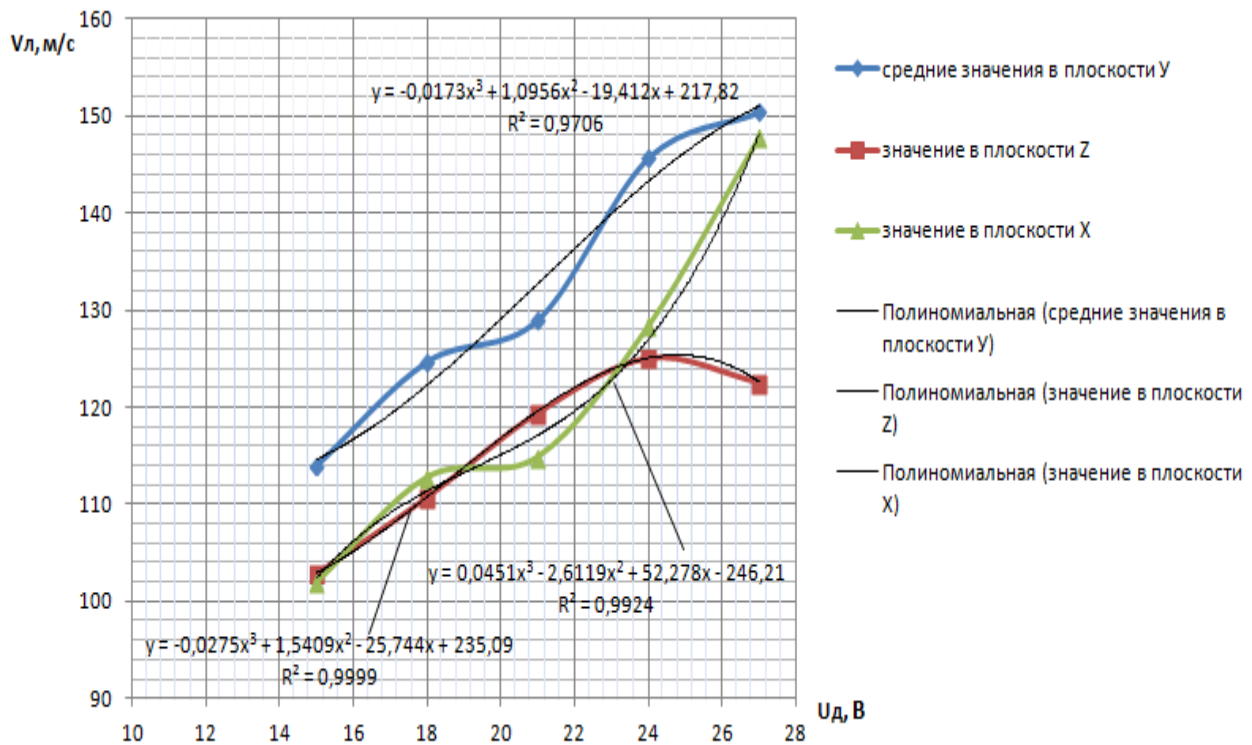


Рисунок 4.3. Зависимость скорости вибрации лотка $V_{л}$ от подаваемого напряжения на электродвигатель $U_{д}$.

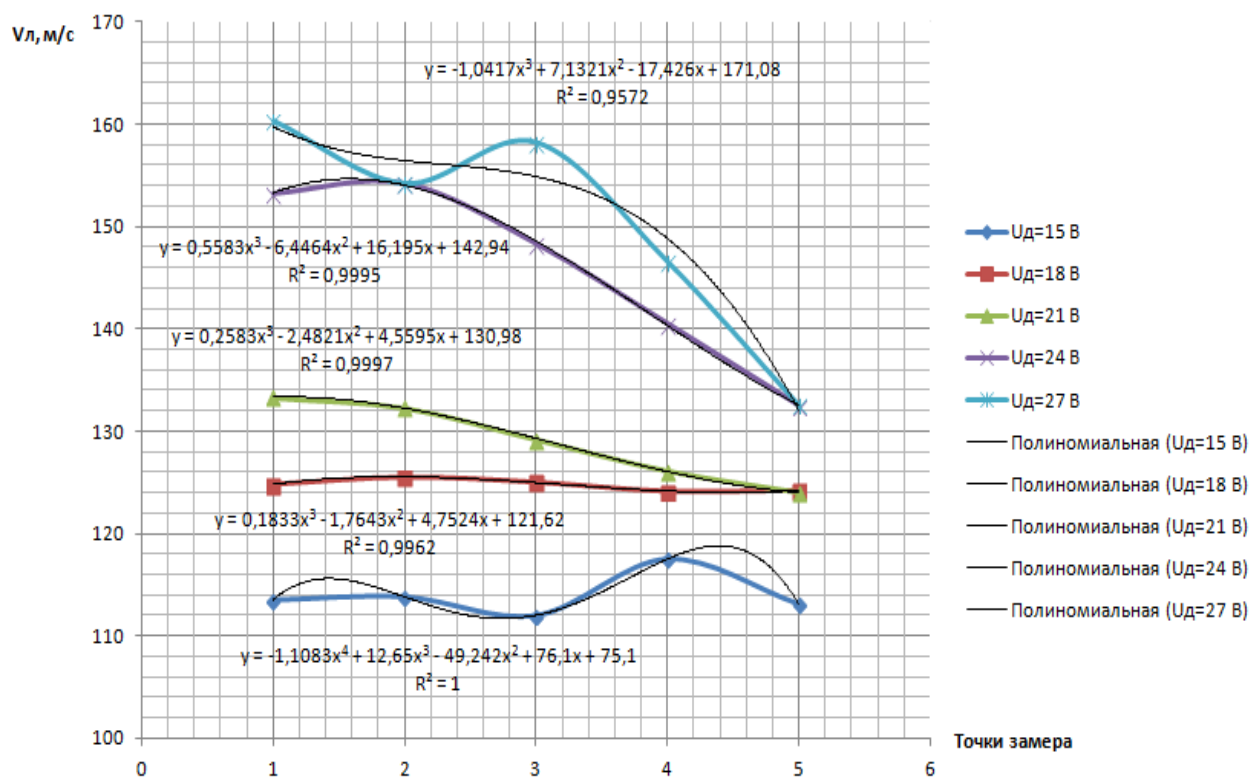


Рисунок 4.4. Характер изменения скорости вибрации по длине лотка для разных напряжений электрического тока (1...5 - точки замера).

4.2 Исследование параметров вибросепаратора под нагрузкой.

4.2.1 Физико-механические свойства исследуемых материалов.

Физико-механические характеристики исследуемых материалов приведены в таблице 4.3 (размер указан как базовый - высота, для определения скорости погружения материала в зерновой ворох). А на рисунке 4.5. представлены сами материалы.

Таблица 4.3. Физико-механические характеристики исследуемых материалов

Характеристики	гравий
Размер, мм	14,43
Масса, мг	889
Плотность, кг/м ³	2778



Рисунок 4.5. Исследуемый материал

4.2.2 Исследование уровня вибрации лотка под нагрузкой.

Зависимость уровня вибрации лотка $L_{\text{л}}$ от частоты колебаний при тех же значениях исходных параметров приведены в таблице 4.4 и на рисунке 4.6. Значения скорости вибрации по точке 1 определено в плоскости X , по точке 2 – в плоскости Y , а по точке 3 – в плоскости Z .

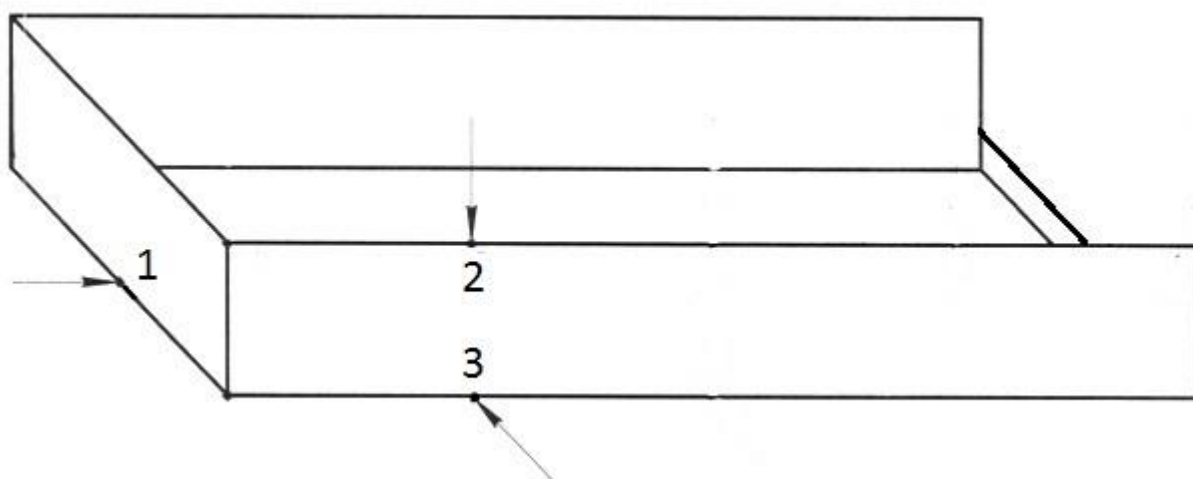


Рисунок 4.6. Схема замеров уровня вибрации лотка $L_{\text{л}}$

Таблица 4.4. Зависимость уровня вибрации лотка $L_{\text{л}}$ от частоты колебаний

п, об/мин	1900	2100	2200	2500	2800
L_x , дБ	115,58	113,96	114,46	111,62	113,58
L_y , дБ	116,06	106,4	109,52	114,62	116,98
L_z , дБ	103,88	99,74	101,42	101,7	101,38
L_{xyz} , дБ	193,96	185,08	188,10	189,58	192,00

Как показывает анализ параметров (таблица 4.4), значительных изменений в уровне вибрации с увеличением частоты колебаний не происходит. В каждой из плоскостей значения уровня вибрации, в среднем, находятся примерно на одном уровне. Вместе с тем, значения уровня вибрации в плоскости Y (точка замера 2) при частоте колебаний 2100 и 2200 об/мин снижается и составляет 106,4 дБ и 109,52 дБ, соответственно. Более наглядно это видно на рисунке 4.7. Применительно к производственным условиям для частоты колебаний $n_{xx} = 46,67 \text{ с}^{-1}$ уровень вибрации составит 116,98 дБ (для среднего значения в плоскости Y)

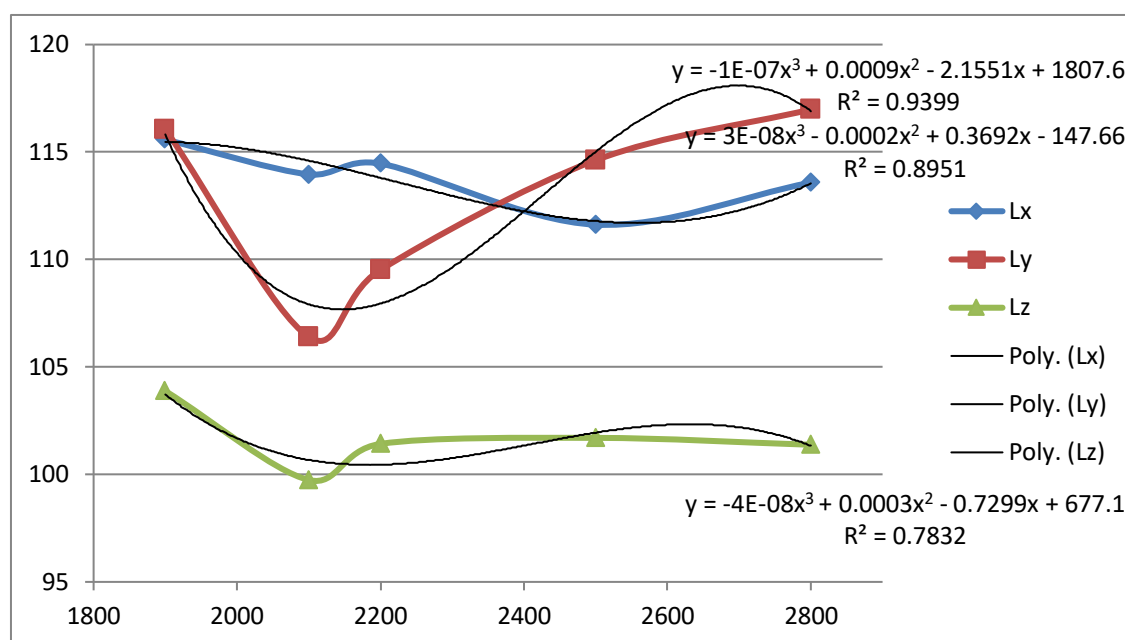


Рисунок 4.7. Зависимость уровня вибрации лотка $L_{л}$ от частоты колебаний.

4.2.3 Определение скорости погружения примесей в зерновой ворох.

Исследования проводились в двух вариантах: 1) при постоянной массе дисбаланса и переменной частоте колебаний; 2) при постоянной частоте колебаний и переменной массе дисбаланса. В первом варианте эксперименты проходили в следующей последовательности. Заслонка бункера открывалась в положение 5. Устанавливалась необходимая частота колебаний на установке выходного напряжения Б 5-7. При этом радиус расположения дисбаланса приняты как при исследовании виброуловителя без нагрузки, а масса равна 9,76 грамм. В случае с переменной массой дисбаланса порядок проведения исследований был следующим. Устанавливался дисбаланс определенной массы на расстоянии 0,03 м от центра. Заслонка бункера открывалась в положение 5 и, путем переключения режимов установки выходного напряжения Б 5-7, устанавливалась частота колебаний, равная 2100 об/мин. Зафиксированные параметры указаны в таблице 4.5 и 4.6

Таблица 4.5 Параметры при исследовании виброуловителя под нагрузкой при переменной частоте колебаний

н, об/мин	1900	2100	2200	2500	2800
I, мА	730	795	760	695	845
U, В	24	27	27	17,2	31
L _{xyz} , дБ	155,45	185,08	188,1	189,58	191
K, кг/с*10 ⁻³	1,931	6,773	5,073	19,992	27,002

Таблица 4.6 Параметры при исследовании виброуловителя под нагрузкой при переменной массе дисбаланса

m _д , г	6,4	7,18	8,05	9,76	10,62
I, мА	790	805	790	795	770
U, В	27,2	27	27	27	24,4
L _{xyz} , дБ	184,29	182,85	184,27	185,08	184,12
Q, кг/с*10 ⁻³	0,312	0,741	2,175	6,773	1,668

Кроме того, толщина зернового вороха над вибратором - 75 мм; угол наклона поверхности зернового вороха в лотке - 0^0 ; укладывались примеси на поверхность зернового вороха в месте выхода зерна из бункера и фиксировалось время погружения примесей в зерновой ворох и путь пройденный примесями до полного погружения в вертикальной S_y и горизонтальной S_x плоскостях; опыты проводились в пятикратной повторности; рассчитывалась скорость погружения и скорость движения примеси по поверхности зернового вороха, то есть горизонтальную V_x и вертикальную V_y составляющие скорости погружения примесей в зерновой ворох. Укладка примесей осуществлялась в месте наихудшего воздействия вибрации на зерновой ворох, то есть по середине лотка непосредственно у бункера. В иных случаях, как показали экспериментальные исследования, скорость погружения примесей в зерновой ворох увеличивается и достигает наибольшего значения у вертикальных стенок лотка. Результаты расчётов представлены в таблице 4.7, а зависимость скоростей от частоты колебаний на рисунке 4.8.

Таблица 4.7 Результаты исследования скорости погружения примесей в зерновой ворох при переменной частоте колебаний

n, об/мин	1900	2100	2200	2500	2800
$V_x, \text{ м/с} \cdot 10^{-3}$	1,10	1,10	1,53	1,10	1,84
$V_y, \text{ м/с} \cdot 10^{-3}$	2,59	3,25	3,20	6,84	12,57
$V_{xy}, \text{ м/с} \cdot 10^{-3}$	2,81	3,43	3,55	6,93	12,7

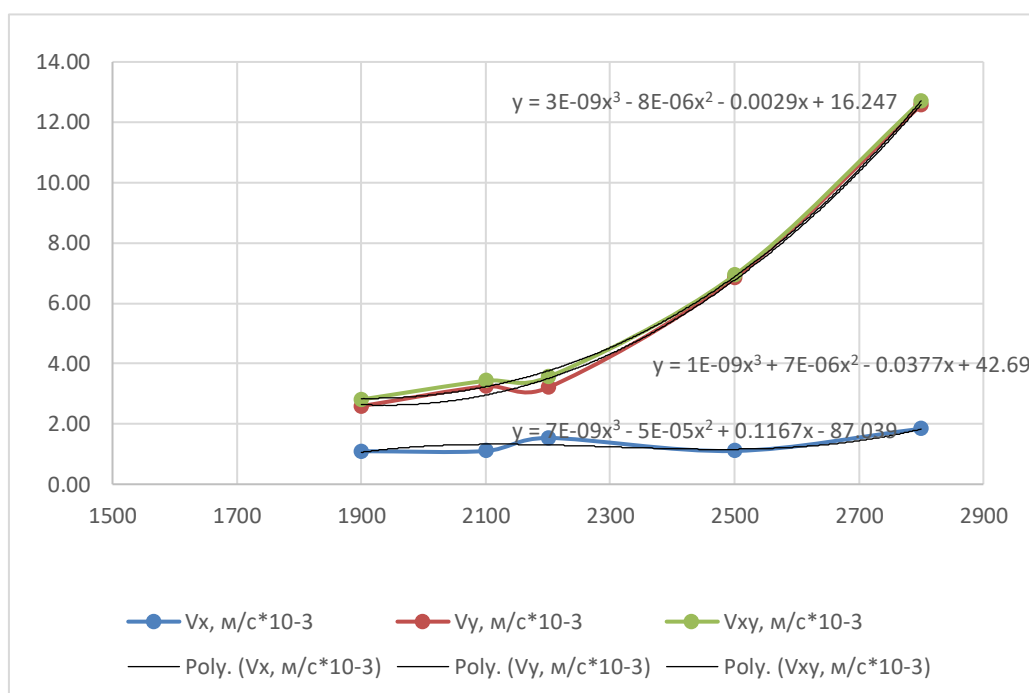


Рисунок 4.8 Зависимость скоростей движения примесей в зерновом ворохе от частоты колебаний

Анализ таблицы 4.7 показывает, что применительно к молотковым дробилкам зерна с бункерами (с частотой вращения вала дробилки $49,2 \text{ с}^{-1}$) скорость погружения наименее плотной примеси (гравий) составит: в вертикальной плоскости – $12,57 \times 10^{-3} \text{ м/с}$, в горизонтальной – $1,84 \times 10^{-3} \text{ м/с}$, общая – $12,7 \times 10^{-3} \text{ м/с}$. При этом пройденный путь в горизонтальной плоскости равен $0,566 \text{ м}$ (при толщине зернового вороха в бункере, которая определяет производительность дробилки зерна, или на лотке равном $0,1 \text{ м}$). Поэтому, для данных условий длина установленного вибрационного лотка должна быть не менее $0,566 \text{ м}$.

4.3 Определение энергетических показателей работы вибрационного отделителя примесей.

Для установленных в разделе параметров работы виброуловителя полная мощность составляет 305,25 Вт, мощность холостого хода - 245,7 Вт. Следовательно, полезная мощность составит – 59,55 Вт. Производительность виброуловителя составила $27,022 \times 10^{-3}$ кг/с. При этом удельный расход энергии на рабочий процесс составляет около 11,3 Вт×с/кг. Техническая характеристика лабораторной установки вибрационного уловителя примесей приведена в таблице 4.8.

Таблица 4.8 Техническая характеристика вибрационного уловителя примесей

№№, п/п	Показатели	Величина
1	Производительность, кг/с	$27,022 \times 10^{-3}$
2	Мощность холостого хода, Вт	245,7
3	Мощность под нагрузкой, Вт	305,25
4	Удельный расход электроэнергии, Вт×с/кг	11,3
5	Частота колебаний под нагрузкой, с ⁻¹	46,67
6	Средний уровень вибрации в вертикальной плоскости, дБ	116,98

Выводы по разделу.

Полученные математические модели на основании экспериментальных данных позволяют решить ряд инженерных задач производственного значения. Главной из которых является определение длины пути пройденной частицей примеси с наихудшими условиями погружения в зерновой ворох под действием вибрации. Как показали экспериментальные исследования наихудшие условия погружения примесей находятся в середине лотка рядом с бункером. Длина установленного вибрационного лотка в бункере дробилки зерна должна быть не менее 0,566 м при толщине зернового потока 0,075 м и частоте колебаний бункера дробилки $46,67 \text{ с}^{-1}$.

5. Эффективность работы вибросепаратора.

При расчете годового объема измельчения зерна его количество принимаем 1000 тонн в год, как для средних СХП Удмуртской республики. При измельчении зерна количество магнитных и минеральных примесей, попадающих в дробильную камеру составляет около 0,005% (по данным Асановского АТТ). Следовательно, при измельчении зерна в количестве 1000 тонн, если исключить износ рабочих органов дробилки дополнительно можно измельчить 5 тонн зерна. Учитывая это, можно определить годовую экономию от виброуловителя:

$$\mathcal{E}_k = C_3 \cdot N_d \quad (6.1)$$

где C_3 -себестоимость измельченного зерна, руб.(по данным Асановского АТТ 5,48 руб/кг)

N_d - объем дополнительно измельченного зерна, т.

$$\mathcal{E}_k = 5,48 \cdot 5000 = 27400,0 \text{ руб.}$$

Срок окупаемости конструкции определяется по формуле [44]

$$O_k = \frac{C_k}{\mathcal{E}_r} \quad (6.2)$$

где C_k -стоимость конструкции, руб.

Стоимость конструкции составляет: стоимость материалов, блока выходного напряжения, электродвигателя и составляет 1656 руб.

Срок окупаемости:

$$O_k = \frac{1656}{27400,0} = 0,06 \text{ года.}$$

Коэффициент эффективности капитальных вложений составляет:

$$K_{\mathcal{E}\phi} = \frac{1}{O_k} \quad (6.3)$$

$$K_{\mathcal{E}\phi} = \frac{1}{0,06} = 16,7$$

Заключение.

Предложена конструктивно - технологическая схема вибрационного уловителя примесей. Теоретически обоснованы параметры виброотделителя, длина лотка должна быть не менее 0,548 м при частоте колебаний $49,8 \text{ с}^{-1}$, амплитуде $A=2,9 \cdot 10^{-3} \text{ м}$. Экспериментально установлены необходимые конструктивно-технологические параметры виброотделителя: длина лотка не менее 0,566 м, при частоте колебаний $46,67 \text{ с}^{-1}$ и амплитуде $2,88 \cdot 10^{-3} \text{ м}$. Получены математические модели, описывающие экспериментальные данные. Обоснована экономическая эффективность использования виброотделителя.

Список литературы

1. ГОСТ 9267-68. Комбикорма-концентраты для свиней. Технические условия. Переиздание с изменениями. – М.: Изд-во стандартов, 1993. – 6 с.
2. ГОСТ 18221-72. Комбикорма полнорационные для сельскохозяйственной птицы. Технические условия. Переиздание с изменениями. – М.: Изд-во стандартов, 1991. – 13 с.
3. ГОСТ 9268-90. Комбикорма-концентраты для крупного рогатого скота. Технические условия. – М.: Изд-во стандартов, 1991. – 10 с.
4. ГОСТ 28098-89. Дробилки кормов молотковые. Общие технические условия. – М.: Изд-во стандартов, 1989. – 2 с.
5. ГОСТ 21055-96. Комбикорма полнорационные для беконного откорма свиней. Общие технические условия. – М.: Изд-во стандартов, 1997. – 9 с.
6. ГОСТ 13299-71. Комбикорма-концентраты для поросят-сосунов. – М.: Изд-во стандартов, 1976. – 6 с.
7. ГОСТ 10199-81. Комбикорма-концентраты для овец. – М.: Изд-во стандартов, 1981. – 6 с.
8. Патент 83946 Российская Федерация, МПК В02С13/00, Дробилка для фуражного зерна/ Широбоков В.И., Стукалин Ф.Г., Жигалов В.А., Николаев В.А., Федоров О.С.; Заявитель и патентообладатель ФГОУ ВПО Ижевская ГСХА - № 2008141746/22; заявл. 21.10.08; опубл. 27.06.09, Бюл. № 18 – 2 с.
9. Патент №124190 Российская Федерация, МПК В 02 С 13/00, Дробилка для зерна / В.И. Широбоков, В.А. Жигалов, О.С. Фёдоров, А.Г. Бастригов, Н.С. Панченко; заявитель и патентообладатель ФГБОУ ВПО Ижевская ГСХА - №2012121280; заявл. 23.05.13; опубл. 20.01.13, Бюл. №2 - 4с.:
10. Пат. №2287371 Российская Федерация, МПК В02С13/04. Молотковая дробилка / Коношин И.В., Звеков А.В.; заявитель и патентообладатель Орловский государственный аграрный университет – № 2005109616/13; заявл. 04.04.05; опубл. 20.11.06, Бюл. № 35

- 11.Адлер Ю.П., Планирование эксперимента при поиске оптимальных условий / Ю.П. Адлер, Е.В. Маркова, Ю.В. Грановский. – М.: Наука, 1976. – 283 с.
- 12.Алёшкин, В.Р. Механизация животноводства / Алёшкин В.Р., Роцин П.М. 2-е изд., перераб. и доп. – М.: Колос, 1993. – 319 с.
- 13.Байтуков Р.С. Исследование вибрационного уловителя примесей для дробилок зерна / Р.С. Байтуков, В.И. Широбоков, А.А. Мякишев, В.А. Баженов // Студенческая наука - устойчивому развитию агропромышленного комплекса: материалы Всероссийской студ. науч. конф., 17-20 марта 2015 г. - Ижевск: ФГБОУ ВПО Ижевская ГСХА, 2015.
- 14.Байтуков Р.С. Обоснование конструктивно-технологических параметров вибрационного отделителя примесей для дробилок зерна // Магистерская диссертация – Ижевск: ФГБОУ ВПО Ижевская ГСХА, 2015.
- 15.Белянчиков Н.Н. Механизация технологических процессов / Н.Н. Белянчиков, И.П. Белехов, Г.Н. Кожевников, А.К. Тургиев. - М.: Агропромиздат, 1989. - 400 с.: ил.
- 16.Вестник ДГТУ. 2001. Т.1. №3(9) УДК 621.86.067.2/ Ильченко В.Д., Тупольских Т.И.
- 17.Гортинский В.В. Процессы сепарирования на зерноперерабатывающих предприятиях / В.В. Гортинский, А.Б. Демский, М.А. Борискин. 2-е изд., перераб. и доп. - М.: Колос, 1980. - 304 с., ил. (С. 68-74).
- 18.Завражнов, А.И. Механизация приготовления и хранения кормов: учеб. пособие / А.И. Завражнов, Д.И.Николаев – М.:Агропромиздат,1990.–336 с.
- 19.Зафрен, С.Я. Технология приготовления кормов: Справочное пособие / С.Я. Зафрен. – М.: Колос, 1977. – 240 с.
- 20.Кошелев, А.Н. Производство комбикормов и кормовых смесей / А.Н.Кошелев, Л.А.Глебов. – М.: Агропромиздат, 1986. – 176 с.
- 21.Кулаковский, И.В. Машины и оборудование для приготовления кормов: Справочник / И.В.Кулаковский, Ф.С.Кирпичников, Е.И.Резник. – М.: Россельхозиздат, 1987. – Ч.1. – 288 с.

- 22.Кукта, Г.М. Технология переработки и приготовления кормов / Кукта Г.М. – М.: Колос, 1978. – 240 с.
- 23.Лапшин В.Л., Тельнов Н. В. Исследование влияния амплитуды колебаний деки на процесс вибросепарации слядяного сырья // Горн. информ.-аналит.бюл. М. : Изд-во Моск. горн. ун-та, 2010.№ 6. С. 251-265.
- 24.Мельников, С.В. Механизация и автоматизация животноводческих ферм: учебн. для вузов / С.В. Мельников. – Л.: Колос, 1978. – 560 с.
- 25.Мерзляков Д. Ю., Яковлев К. В. Анализ устройств для отделения твердых неорганических примесей из зерна перед дроблением // Студенческая наука - инновационному развитию агропромышленного комплекса: материалы Всероссийской студ. науч. конф., 14 марта 2017 г. - Ижевск: ФГБОУ ВО Ижевская ГСХА, 2017.
- 26.Мерзляков Д. Ю., Яковлев К. В. Исследование процесса работы виброотделителя неорганических примесей из ячменя // Студенческая наука - инновационному развитию агропромышленного комплекса: материалы Всероссийской студ. науч. конф., 14 марта 2017 г. - Ижевск: ФГБОУ ВО Ижевская ГСХА, 2017.
- 27.Механизация животноводческих ферм / С.В. Мельников [и др.] – М.: Колос, 1969. – 440 с.
- 28.Пилипенко, А.Н., Механизация переработки и приготовления кормов в личных подсобных хозяйствах / А.Н. Пилипенко. – М.: Росагропромиздат, 1989. – 144 с.
- 29.Прищеп, Л.Г. Учебник сельского электрика / Л.Г. Прищеп. – М.: Агропромиздат, 1986. – 509 с.
- 30.Производство комбикормов и кормовых смесей в хозяйствах / Л.И.Кропп [и др.]. – М.: Колос, 1977. – 213 с.
- 31.Резуев С.Б., Бакаев И. В.. Хранение и переработка зерна. – 2011. – № 7. – С. 34–41.
- 32.Савиных, П.А. Повышение эффективности функционирования технологических линий приготовления и раздачи кормов путем

- совершенствования процессов и средств механизации: дис. ... д-ра техн. наук / П.А. Савиных. – Киров, 1999 – 505 с.
33. Сечкин, В.С. Заготовка и приготовление кормов в Нечерноземье: Справочник / В.С. Сечкин, Л.А. Сулима, В.П. Белов и др. – 2-е изд. Перераб. и доп. – Л.: Агропромиздат, 1988. – 480 с.
34. Синещеков, А.Д. Эффективное использование кормов / А.Д. Синещеков, А.В. Тимановский. – М.: Колос, 1967. – 143 с.
35. Средства механизации промышленного животноводства: учеб. пособие / под ред. В.Д. Шеповалова. – М.: Колос, 1981. – 255 с.
36. Сухин Н.В., Корчевский А.Н., Назимко Е.И. Применение вибрационного пневматического сепаратора при разделении лома цветных металлов // Обогащение полезных ископаемых. - Днепропетровск. – 2004. - №20 (61). – С. 77-82.
37. Сыроватка, В.И. Производство комбикормов в колхозах и совхозах / В.И. Сыроватка. – М.: Россельхозиздат, 1976. – 62 с.
38. Сыроватка, В.И. Эффективное измельчение фуражного зерна в дробилках / В.И. Сыроватка // Зоотехния. – 1991. – № 11. – С. 67 – 70.
39. Сысуев, В.А. Кормоприготовительные машины. В 2 т. Т. 1. Теория, разработка, эксперимент / В.А. Сысуев, А.В. Алешкин, П.А. Савиных. – Киров. : Зональный НИИСХ Северо-Востока, 2008. – 640 с.
40. Сысуев, В.А. Энергосберегающие машины и оборудование для кормоприготовления / В.А. Сысуев. – Киров: НИИСХ Северо-Востока имени Н.В. Рудницкого, 1999. – 290 с.
41. Тищенко Л.Н., Абдуева Ф.М., Ольшанский В.П. К расчету вибровязкости псевдоожиженной сыпучей среды при виброцентробежном сепарировании // Сучасні напрямки технології та механізації процесів переробних і харчових виробництв: Вісник ХНТУСГ. – Харків: ХНТУСГ, 2007. Вип. 58. – С. 44-51.
42. Тищенко Л. Н. и др. Моделирование процессов зерновых
43. сепараторов /Л. Н. Тищенко. – Харьков: ХНТУСХ, 2010. – 47 с
44. Тищенко Л.Н. К определению гидродинамических характеристик псевдоожиженных сыпучих сред при работе виброцентробежных

- сепараторов // Экология и сельхозтехника: Сб. науч. тр. СЗНИИМЭСХ. – СПб. Павловск: СЗНИИМЭСХ, 2000. – Т. 1. – С. 70-73.
45. Федоров, О.С. Совершенствование конструкции зерновых молотковых дробилок / О.С. Федоров // Интеллектуальные системы в производстве. – 2008. – №2. – С.110 – 113.
46. Широбоков В.И. Анализ устройств для удаления минеральных и металлических примесей из зернового вороха / В.И. Широбоков, Р.С. Байтуков, Е.В. Байтукова // Наука, инновации и образование в современном АПК: материалы Международной науч.-практ. конф., 11-14 фев. 2014 г. - Ижевск: ФГБОУ ВПО Ижевская ГСХА, 2014. - Т.3. - С.150-154. (5 с.).
47. Широбоков В.И. Вибрационный уловитель примесей для молотковых дробилок зерна / В.И. Широбоков, А.М. Григорьев // Вестник ФГБОУ ВПО Ижевская ГСХА. - 2013. - №2(35). - С.
48. Широбоков В.И. Модернизация дробилки фуражного зерна / В.И. Широбоков, А.Г. Иванов, О.С. Федоров // Тракторы и сельскохозяйственные машины. – 2010. - №1. – С.21-23.
49. Широбоков В.И. О необходимости модернизации всасывающе-нагнетательных дробилок зерна / В.И. Широбоков, Р.С. Байтуков, Е.В. Байтукова, А.Г. Бастригов, Н.С. Панченко // Вестник Казанского ГАУ. - 2014. - № 4 (34). - С.103-106. (153 с.).
- 50. Анисимов М. С. Зависимость удельного расхода энергии дробилки от кратности сепарации дерти в циклоне модернизированной дробилки/ М.С. Анисимов, Е. С. Стрелков // В сборнике: Научные труды студентов Ижевской ГСХА. Сборник статей. Отв. за выпуск Н.М. Итешина. – Ижевск, 2022. – С. 647 – 650.**
- 51. Анисимов М. С. Изменение содержания пылевидной фракции в готовом продукте в зависимости от кратности воздействия дробилки на зерно / М. С. Анисимов, Е. С. Стрелков // В сборнике: Научные труды студентов Ижевской ГСХА. Сборник статей. Отв. за выпуск Н.М. Итешина. – Ижевск, 2022. – С. 647 – 650.**

УДК 631.363.25: 681.521.71

М.С. Анисимов, Е. С. Стрелков, магистранты 2-го года обучения инженерного факультета

Научный руководитель: канд. техн. наук, доцент Широбоков В. И.

Зависимость удельного расхода энергии дробилки от кратности сепарации дерти в циклоне модернизированной дробилки

В статье представлены результаты исследования в циклоне-сепаратора дробилки зерна. Получены экспериментальная зависимость влияния кратности сепарации дерти на удельный расход энергии.

Для эффективного производства животноводческой продукции необходимо обеспечивать животных качественным кормом. В рационах сельскохозяйственных животных существенную роль играют концентрированные корма. Эффективность их использования зависит от качественных и энергетических показателей работы дробилки зерна. Современные дробилки зерна работают по принципу ударного разрушения зерна и имеют ряд недостатков, снижающих эффективность их использования. Анализ работы дробилок зерна показывают, что эффективность их можно увеличить за счёт: конструктивных или технологических показателей [2, 6, 7, 8]; увеличения износостойкости рабочих органов дробилки [4, 5]; качественной очистки исходного зерна от неорганических примесей [3]. В конечном итоге всё это повлияет на повышение качества измельчённого зерна и снижения расхода энергии на процесс дробления. Установлена взаимосвязь между модулем помола и кратностью сепарации дерти в циклоне-сепараторе [2]. При трёхкратной сепарации дерти рециркулянт соответствует среднему модулю помола ($1,0...1,8 \text{ м} \cdot 10^{-3}$ [1]). Однако какова взаимосвязь энергетических и качественных показателей работы дробилки зерна не установлена.

Целью работы является взаимосвязь между модулем помола и удельным расходом энергии. Для достижения поставленной цели необходимо решить следующие задачи: - исследовать зависимость удельного расхода энергии от кратности сепарации дерти в циклоне и взаимосвязь между модулем помола и удельным расходом энергии.

Материалы и методы. Объектом исследования является процесс дробления зерна молотковой дробилкой и сепарации дерти в циклоне-сепараторе. Общий вид лабораторной установки приведён на рис. 1.

Исследования проводились без рециркуляции дерти через пневмосистему дробилки. После однократного дробления отбирались пробы рециркулянта из циклона и готового продукта и проводился ситовой анализ. Рециркулянт в дальнейшем снова загружался в бункер дробилки для повторного измельчения. В качестве исходного сырья принято зерно ячменя. В циклон установлено решето с диаметром отверстий 6 мм (рис. 2).

В экспериментальных исследованиях использовались: весы платформенные РП-100, весы лабораторные ВЛКТ-500Г-М, лабораторный классификатор, секундомер СДСпр, цифровой фотоаппарат LUMIX 1. Для контроля расхода электроэнергии

применялся комплект измерительный К 505. Опыты проводились с трёхкратной повторностью.



Рисунок 1 - Общий вид лабораторной установки



Рисунок 2 - Конструкция циклона-сепаратора

Результаты исследований. На рисунке 3 приведена зависимость удельного расхода энергии от кратности сепарации дерти в циклоне.

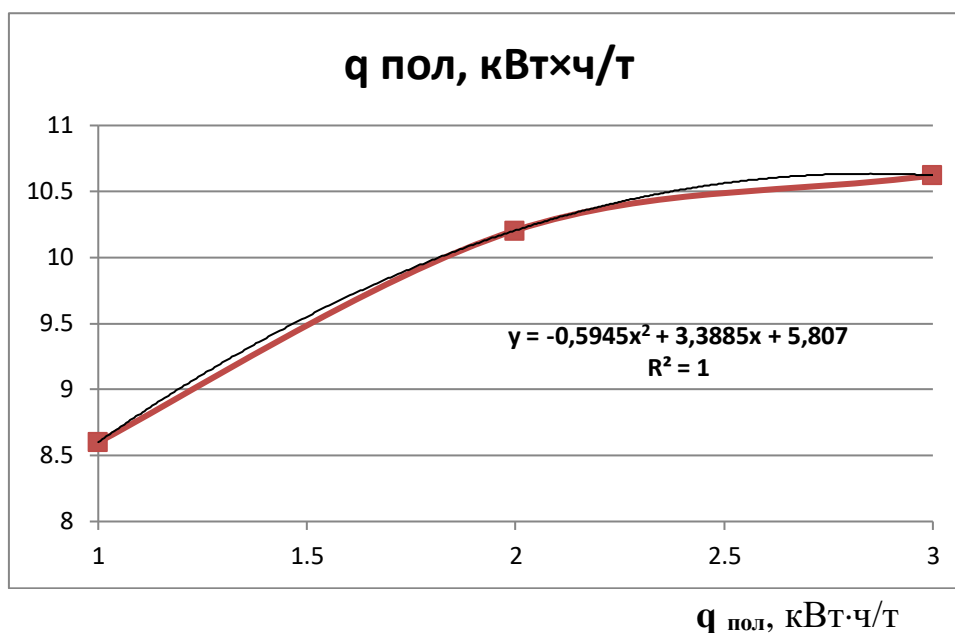


Рисунок 3 – Зависимость удельного расхода энергии $q_{\text{пол}}$ от кратности сепарации дерти в циклоне n

С увеличением кратности сепарации дерти в циклоне нелинейно повышается удельный расход энергии (рис. 3).

На рисунке 4 приведена зависимость удельного расхода энергии от модуля помола.

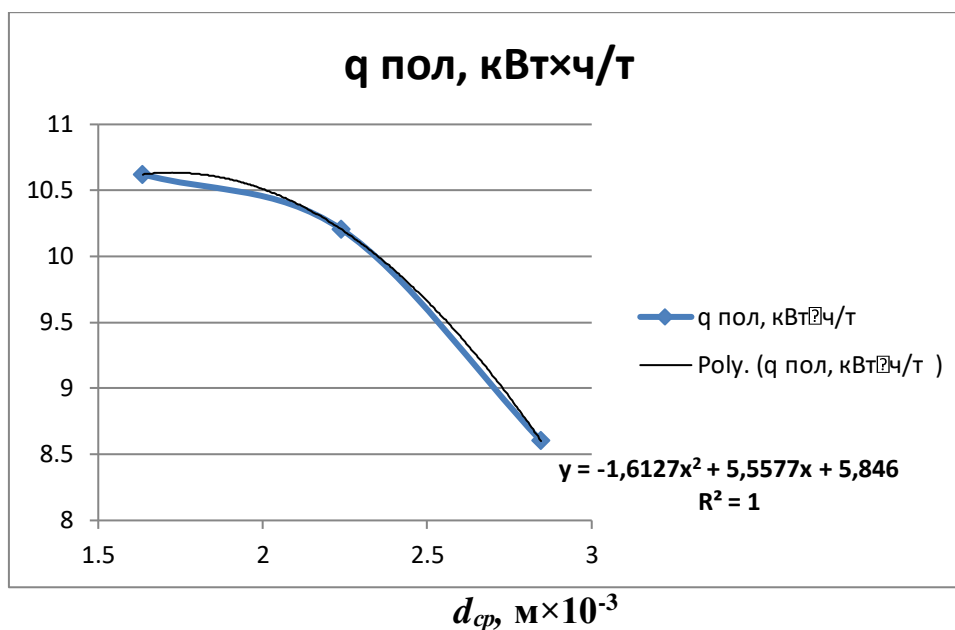


Рисунок 3 – Зависимость удельного расхода энергии $q_{\text{пол}}$ от модуля помола $d_{\text{ср}}$

Полученные уравнения аппроксимации с высокой достоверностью описывают результаты исследований.

Выводы. С увеличением кратности сепарации дерти в циклоне расход энергии увеличивается, а с увеличением модуля помола удельный расход энергии снижается. Полученные уравнения аппроксимации позволяют определить расход энергии при заданном значении модуля помола.

Список литературы

1. ГОСТ 9268 – 90 Комбикорма-концентраты для крупного рогатого скота. Технические условия. – М.: Изд-во стандартов, 1991. – 10 с.
2. Бастригов А.Г. Зависимость эффективности работы циклона-сепаратора от количесива циклов воздействия дробилки на зерно / А.Г. Бастригов, В.И. Широбоков, С.Н. Шмыков // Аграрная наука сельскохозяйственному производству: материалы Международной конференции 12 - 15 февраля 2019 года, Ижевск. В 3 т. – Ижевск: ФГБОУ ВО Ижевская ГСХА, 2019. – Т. 3. – С. 10–19.
3. [Влияние износа рабочих органов на эффективность работы дробилки зерна](#) / В. И. Широбоков, А. А. Мякишев, В. А. Баженов [и др.] // –[Сельский механизатор](#). – 2022. – [№ 3](#). – С. 28–29.
4. Ипатов А.Г. Повышение работоспособности сепарирующего решета дробилки зерна закрытого типа / А.Г. Ипатов, В.И. Широбоков, М.А. Кубалов // Известия ФГБОУ ВО Горский государственный аграрный университет. – 2018. – № 55 (1). – С. 112–119.
5. Исследование параметров изношенного сепарирующего решета / В.И. Широбоков, А.Г. Ипатов, Л.Я. Новикова, С.Н. Шмыков // Вестник ФГБОУ ВО Ижевская ГСХА. – 2017. – № 3 (52). – С. 62–70.
6. О необходимости модернизации всасывающе-нагнетательных дробилок зерна / В.И. Широбоков, Р.С. Байтуков, Е.В. Байтукова [и др.] // Вестник Казанского ГАУ. – 2014. – № 4 (34). – С. 103–106.
7. Пат. №83946 Российская Федерация, МПК В 02 С 13/00, Дробилка для фуражного зерна / В.И. Широбоков, Ф.Г. Стукалин, В.А. Жигалов, В.А. Николаев, О.С. Федоров; заявитель и патентообладатель ФГОУ ВПО Ижевская ГСХА. – № 2008141746/22; заявл. 21.10.08; опубл. 27.06.09, бюл. № 18. – 2 с.
8. Широбоков В.И. [Зависимость частоты вращения лопасти пылеуловителя от плотности жидкости](#) / В. И. Широбоков, С. Н. Шмыков, Л. Я. Новикова // В сборнике: Научные разработки и инновации в решении стратегических задач агропромышленного комплекса. Материалы Международной научно-практической конференции. В 2-х томах. – Ижевск, 2022. – Т. 2. – С. 234-238.

УДК 631.363.25: 681.521.71

М.С. Анисимов, Е. С. Стрелков, магистранты 2-го года обучения инженерного факультета

Научный руководитель: канд. техн. наук, доцент Широбоков В. И.

Изменение содержания пылевидной фракции в готовом продукте в зависимости от кратности воздействия дробилки на зерно.

В статье приведены результаты исследованияdb модернизированной дробилки зерна. Получены экспериментальные зависимости влияния кратности циркуляции зерна на содержание пылевидной фракции в готовом продукте.

В рационе животных агропромышленного комплекса важное значение имеют концентрированные корма. Эффективность их использования зависит от показателей работы дробилки зерна, от качества получаемого конечного продукта. Дробилки зерна работают по принципу разрушения ударом и имеют недостатки, снижающие эффективность их применения. Проведённый анализ исследований в области повышения эффективности использования дробилок показывает направления исследований: повышение износостойкости рабочих органов [4, 5]; очистка исходного сырья от неорганических примесей перед дроблением [3]. Наиболее важным является требования зоотехнической науки и стандартов в области повышения качества готового продукта - дроблёного зерна [1]. В этой области также проведены ряд исследований, направленных на улучшение конструктивных и технологических параметров дробилок зерна [2, 6 – 8]. Одним из показателей качества дроблённого зерна является содержание пылевидной фракции в готовом продукте, которое зависит от ряда факторов. Одним из факторов может является кратность взаимодействия зерна с молотками дробилки при измельчении. Однако какова взаимосвязь такая взаимосвязь не установлена.

Поэтому **целью** работы является изучение изменения содержания пылевидной фракции в готовом продукте в зависимости от кратности воздействия дробилки на зерно. В соответствии с поставленной целью в работе решаются следующие **задачи**: – исследовать зависимость содержания пылевидной фракции в конечном продукте от кратности воздействия молотков на зерно; – установить зависимость соотношения содержания пылевидной фракции в готовом продукте к остатку на дне классификатора от кратности циркуляции зерна через дробилку.

Материалы и методы. Объектом исследования является процесс дробления зерна молотковой дробилкой и сепарации дерти в циклоне-сепараторе. Общий вид лабораторной установки приведён на рис. 1.



Рисунок 1 – Общий вид лабораторной установки

Таблица 1 – Приборы и аппаратура, использованные в экспериментальных исследованиях

Наименование	Марка	Количество	Назначение
Весы лабораторные	ВЛКТ-500Г-М заменить	1	Определение массы проб
Лабораторный классификатор	—	1	Рассев проб
Секундомер	СДС _{пр.1}	1	Регистрация времени опыта
Цифровой фотоаппарат	LUMIX	1	Фотография лабораторной установки

Исследования проводились без рециркуляции дерти через пневмосистему дробилки. После однократного дробления отбирались пробы рециркулянта из циклона и готового продукта и проводился ситовой анализ. Рециркулянт в дальнейшем снова загружался в бункер дробилки для повторного измельчения. В качестве исходного сырья принято зерно ячменя. В циклон установлено коническое решето с диаметром отверстий 6 мм (рис. 2). В качестве исходного сырья принято зерно ячменя сорта Раушан влажностью 12,5...12,9 % с эквивалентным диаметром зерна 4,3 мм. Порядок проведения опыта следующий: - запустить дробилку зерна; - взвесить определённую порцию зерна и засыпать в бункер дробилки при закрытой заслонке; - открыть заслонку на заданный размер (10 мм); - зафиксировать время опорожнения бункера дробилки; - выключить дробилку зерна; - взять пробы готового продукта не

менее 0,5 кг; - провести ситовой анализ взятых проб в трёхкратной повторности; - записать результаты.



Рисунок 2 – Конструкция циклона-сепаратора

Результаты исследований. Результаты исследований изменения содержания пыли в измельчённом продукте P_n от кратности циркуляции зерна через дробилку n и зависимость соотношения содержания пылевидной фракции P_n в готовом продукте к остатку на дне классификатора P_o от кратности циркуляции зерна через дробилку n приведены на рис. 3 и 4.

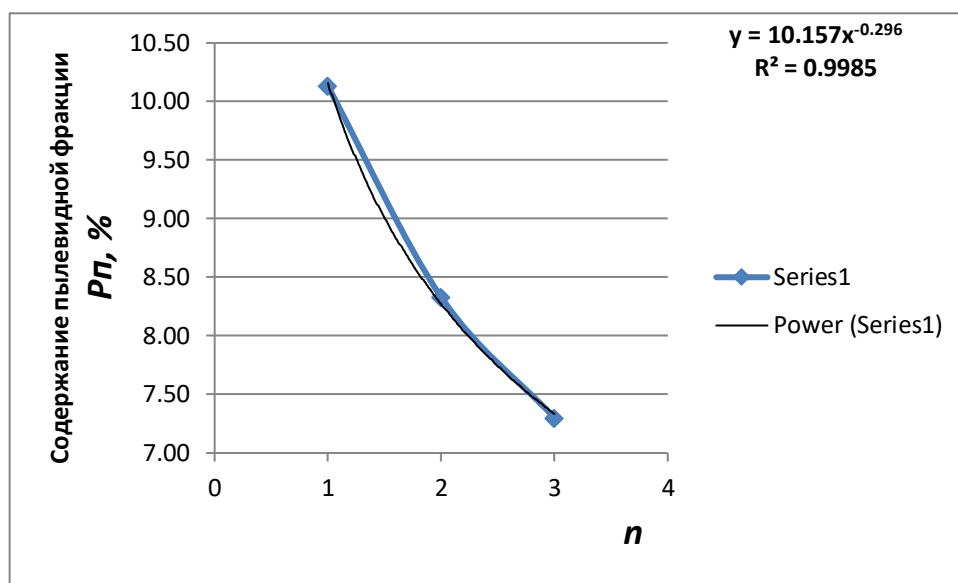


Рисунок 3 – Изменение содержания пыли в измельчённом продукте P_n от кратности циркуляции зерна через дробилку n

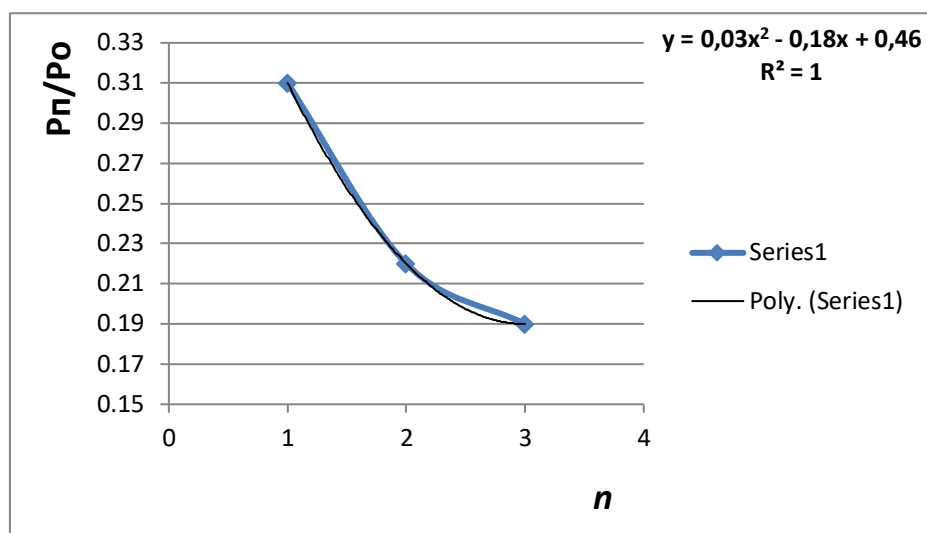


Рисунок 2 – Зависимость соотношения содержания пылевидной фракции R_n в готовом продукте к остатку на дне классификатора P_o от кратности циркуляции зерна через дробилку n

Результаты исследований показывают нелинейный характер уменьшения концентрации пылевидной фракции в дроблённом зерне.

Выводы. С увеличением кратности воздействия молотков на зерно содержание пылевидной фракции снижается до 7,2 %, при этом модуль помола соответствует среднему [1].

Список литературы

1. ГОСТ 9268 – 90 Комбикорма-концентраты для крупного рогатого скота. Технические условия. – М.: Изд-во стандартов, 1991. – 10 с.
2. Бастригов А.Г. Зависимость эффективности работы циклона-сепаратора от количесива циклов воздействия дробилки на зерно / А.Г. Бастригов, В.И. Широбоков, С.Н. Шмыков // Аграрная наука сельскохозяйственному производству: материалы Международной конференции 12 - 15 февраля 2019 года, Ижевск. В 3 т. – Ижевск: ФГБОУ ВО Ижевская ГСХА, 2019. – Т. 3. – С. 10–19.
3. [Влияние износа рабочих органов на эффективность работы дробилки зерна](#) / В. И. Широбоков, А. А. Мякишев, В. А. Баженов [и др.] // –[Сельский механизатор](#). – 2022. – [№ 3](#). – С. 28–29.
4. Ипатов А.Г. Повышение работоспособности сепарирующего решета дробилки зерна закрытого типа / А.Г. Ипатов, В.И. Широбоков, М.А. Кубалов // Известия ФГБОУ ВО Горский государственный аграрный университет. – 2018. – № 55 (1). – С. 112–119.
5. Исследование параметров изношенного сепарирующего решета / В.И. Широбоков, А.Г. Ипатов, Л.Я. Новикова, С.Н. Шмыков // Вестник ФГБОУ ВО Ижевская ГСХА. – 2017. – № 3 (52). – С. 62–70.
6. О необходимости модернизации всасывающе-нагнетательных дробилок зерна / В.И. Широбоков, Р.С. Байтуков, Е.В. Байтукова [и др.] // Вестник Казанского ГАУ. – 2014. – № 4 (34). – С. 103–106.
7. Пат. №83946 Российская Федерация, МПК В 02 С 13/00, Дробилка для фуражного зерна / В.И. Широбоков, Ф.Г. Стукалин, В.А. Жигалов, В.А. Николаев, О.С. Федоров; заявитель и патентообладатель ФГОУ ВПО Ижевская ГСХА. – № 2008141746/22; заявл. 21.10.08; опубл. 27.06.09, бюл. № 18. – 2 с.
8. Широбоков В.И. [Зависимость частоты вращения лопасти пылеуловителя от плотности жидкости](#) / В. И. Широбоков, С. Н. Шмыков, Л. Я. Новикова // В сборнике: Научные разработки и инновации в решении стратегических задач агропромышленного комплекса. Материалы Международной научно-практической конференции. В 2-х томах. – Ижевск, 2022. – Т. 2. – С. 234–238.