

ТАВРИЧЕСКАЯ ГОСУДАРСТВЕННАЯ АГРОТЕХНИЧЕСКАЯ АКАДЕМИЯ

На правах рукописи

Хассай Дмитрий Витальевич

УДК [631.234: 628.97]: 635.64

**ОБОСНОВАНИЕ ЭЛЕКТРОТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ
ПАРАМЕТРОВ УСТРОЙСТВ ИЗВЛЕЧЕНИЯ
ФЕРРОМАГНИТНЫХ ТЕЛ ИЗ ПОТОКОВ
ЗЕРНОВЫХ МАТЕРИАЛОВ**

05.09.16 – электротехнологии и электрооборудование в агропромышленном
комплексе

Диссертация
на соискание ученой степени
кандидата технических наук

Научный руководитель:
Масюткин Евгений Петрович
кандидат технических наук,
доцент

Мелитополь - 2006

СОДЕРЖАНИЕ

Введение.....	5
Раздел 1. Анализ существующих устройств и систем извлечения ферромагнитных примесей из потоков зерновых материалов.....	12
1.1. Анализ технологий переработки зерновых материалов и путей их загрязнения ферромагнитными примесями.....	13
1.2. Классификация устройств и систем извлечения ферромагнитных примесей из зерновых материалов.....	16
1.3. Анализ существующих технологий перемещения зерновых материалов через рабочую зону электромагнитных сепараторов.....	22
1.4. Анализ методов расчета устройств и систем извлечения ферромагнитных примесей из зерновых материалов.....	24
Выводы и постановка задач исследования.....	28
Раздел 2. Математические модели извлечения ферромагнитных тел из зерновых материалов.....	30
.....	
2.1. Теоретические основы взаимодействия ферромагнитных тел с магнитным полем.....	31
2.1.1. Магнитное поле сепараторов с многополюсными электромагнитами....	32
2.1.2. Взаимодействие ферромагнитного тела с магнитным полем в рабочей зоне многополюсного электромагнитного сепаратора.....	35
2.2. Статическая модель взаимодействия ферромагнитных тел с магнитным полем.....	38
2.3. Инженерный метод расчета электромагнитных сепараторов.....	41
2.4. Динамическая модель взаимодействия ферромагнитных тел с магнитным полем	47
2.4.1. Векторная и дифференциальная формы математической модели.....	48
2.4.2. Численное исследование математической модели извлечения ферромагнитных тел из зерновых материалов.....	50
.....	
2.4.3. Анализ результатов моделирования математической модели извлечения ферромагнитных тел из зерновых материалов.....	60
.....	
2.5. Рекомендации по разработке новых и совершенствованию существующих электромагнитных сепараторов для извлечения ферромагнитных тел из зерновых материалов.....	60
Выводы.....	61

Раздел 3. Разработка и экспериментальное исследование устройств и извлечения ферромагнитных тел из зерновых материалов.....	64
3.1. Анализ промышленных технологий и устройств извлечения ФМП из зерновых материалов.....	64
3.1.1. Технологии извлечения ферромагнитных примесей из зерновых материалов на комбинате хлебопродуктов.....	64
3.1.2. Технология извлечения ферромагнитных примесей из подсолнечника на маслоэкстракционном заводе.....	67
3.2. Описание новых конструкций электромагнитных сепараторов.....	71
3.2.1. Виброэлектромагнитный сепаратор.....	71
3.2.2. Электромагнитный сепаратор.....	73
3.2.3. Электромагнитный сепаратор.....	76
3.3. Экспериментальное исследование электромагнитных сепараторов.....	78
3.3.1. Исследование извлечения ферромагнитных тел из неподвижного и виброкипящего слоя зерновых материалов.....	79
3.3.2. Исследование влияния шихтовки магнитопровода электромагнитного сепаратора на извлечение ферромагнитных тел из зерна.....	93
3.4. Разработка опытно-промышленного электромагнитного сепаратора для извлечения ферромагнитных тел из зерновых материалов.....	98
3.5. Обнаружение ферромагнитных тел в потоке зерновых материалов.....	106
3.6. Разработка энергосберегающей системы извлечения ферромагнитных тел из зерновых материалов.....	112
Выводы.....	114
Раздел 4. Рекомендации по применению электротехнологической системы извлечения ферромагнитных тел из потоков зерновых материалов.....	116
.....	
4.1 Рекомендации по применению электротехнологической системы извлечения ферромагнитных тел из потоков зерновых материалов.....	116
4.2. Расчет экономического эффекта от внедрения устройства извлечения.....	117
Выводы.....	118
Общие выводы и заключение.....	120
Список использованной литературы.....	124
Приложения.....	137

ВВЕДЕНИЕ

Совершенствованию существующих и разработке новых электротехнических устройств и систем в агропромышленном комплексе (АПК) в последнее время уделяется большое внимание, особенно с позиций энергосбережения, поскольку сейчас и в ближайшем будущем в Украине неизбежен дефицит энергоресурсов.

Проблема электрификации АПК (электроснабжение, применение электрической энергии, автоматизация сельскохозяйственных процессов, эксплуатация электрооборудования, включая технический сервис и др.) с научных позиций все еще требует особого внимания, несмотря на весомый вклад, вносимый в различные области знаний и отрасли производства, сформировавшимися в прошлые годы и существующими теперь научными школами во главе с ведущими учеными - Мартыненко И.И., Иноземцевым Г.Б., Черенковым А.Д., Овчаровым В.В., Савченко П.И. (Украина), Басовым А.М., Бородиным И.Ф., Будзко И.А., Изаковым Ф.Я., Пястоловым А.А., Кудрявцевым И.А. (Россия, Беларусь) и другими.

Однако следует отметить, что применяемые в настоящее время электротехнологические устройства и системы разрабатывались и изготавливались десятки лет назад во времена бездефицитной энергетики с заложенными в них, порой неэффективными техническими решениями, как по конструктивному оформлению, так и режимам работы (например, электромагнитные сепараторы для извлечения ферромагнитных примесей из зерновых материалов).

Одними из мало изученных задач в проблеме применения электротехнологий в сельскохозяйственном производстве, являются задачи магнитного воздействия на неоднородные дисперсные (технические жидкости) и сыпучие среды (зерновые материалы и др.), содержащие ферромагнитные примеси, и в частности - задача их извлечения из зерновых материалов.

Решение этой задачи, в первую очередь, диктуется необходимостью совершенствования существующих и разработки новых энергосберегающих устройств – электромагнитных сепараторов, предназначенных для извлечения ферромагнитных примесей из зерновых материалов.

Анализ существующей информации [22, 52, 20, 105] показал, что применение магнитного воздействия на дисперсные среды в АПК еще не достаточно изучены, поскольку на наш взгляд, является еще относительно молодой областью знаний и поэтому необходимы дополнительные исследования, как теоретического, так и экспериментального плана.

В основу любых конструкций электромагнитных (магнитных) сепараторов заложен способ, основанный на взаимодействии ферромагнитных тел, находящихся в вязких и сыпучих средах, с постоянным магнитным полем. Ниже будут проанализированы различные типы сепараторов, которые используются в АПК. Здесь мы отметим только

, что сепараторы выполненные с применением, как постоянных магнитов, так и электромагнитов, как правило, работают в режиме постоянного включения, что неэкономично; не оснащены подсистемами управления (только ручное обслуживание), эти и другие недостатки сдерживают полную автоматизацию технологических линий переработки зерновых материалов.

Настоящая диссертация посвящена разработке энергоресурсосберегающих устройств для извлечения ферромагнитных тел из потоков зерновых материалов и методов их моделирования и расчета.

АКТУАЛЬНОСТЬ. Одной из необходимых стадий технологий переработки зерновых материалов, других сыпучих является извлечение различных примесей, включая ферромагнитные. Ферромагнитные примеси негативно влияют с одной стороны на качество продукции (согласно ДСТУ 40.004 – 99, ГОСТ 276 – 60 и зоотехнических требований содержание ферромагнитных примесей в товарной пшенице должно быть не более 3 мг/кг продукции, а в брикетированных и гранулированных кормах – 30 мг/кг); с другой, более крупные тела, попадая в рабочие органы оборудования, нередко способствуют возникновению аварийных ситуаций и, соответственно, простоя технологических линий из-за ремонтных работ.

Электромагнитные (магнитные) сепараторы, применяемые в настоящее время в различных технологических линиях переработки зерновых материалов для извлечения ферромагнитных тел (ФМТ), работают неэффективно: как правило, они не включены в общую схему автоматизации; требуют постоянного внимания со стороны обслуживающего персонала; имеют большие габаритно-массовые характеристики, потребляют значительное количество электрической энергии. Количественный же показатель - содержание ферромагнитных примесей, значительно превышает (в 2-3 раза) допустимые нормы. Это объясняется тем, что указанное выше оборудование несовершенно, чаще всего заимствовано из горнорудной отрасли с некоторыми конструктивными изменениями, связанными в основном, с привязкой к существующей системе машин и аппаратов, реализующей конкретную технологию.

Поэтому постановка и решение задачи по совершенствованию существующих и разработке новых устройств извлечения ферромагнитных примесей из зерновых материалов актуальны.

Связь работы с научными программами и планами. Выполненные в диссертации исследования являются фрагментом или составной частью следующих программ и планов:

- Государственной научно-технической программы Министерства Украины по делам науки и технологий 3.12 «Енерго і ресурсозбереження у сільськогосподарському виробництві»;

- Программы №1 научно–исследовательских работ Таврической государственной агротехнической академии на 2001-2004, 2004-2008 года „Розробка наукових основ систем технологій і технічних засобів для забезпечення продовольчої безпеки Південного регіону України” (подпрограма 1.11.2. „Розробка та оптимізація режимів роботи електротехнологічного обладнання вилучення ферромагнітних домішок в системах переробки зерна та зернових сумішей”, государственный регистрационный номер 0102V000685).

Цель и задачи исследований. Целью исследований является повышение качества зерновых материалов путем использования усовершенствованных электромагнитных сепараторов, разработанных на базе теории движения ферромагнитных тел в магнитном поле.

Задачи исследований: Для реализации поставленной цели сформулированы и решены (разд. 1-4) следующие задачи:

- проанализировать существующие технологии и технические средства извлечения ферромагнитных тел из потоков зерновых материалов и обосновать пути их совершенствования;
- обосновать и аналитически исследовать взаимодействие магнитного поля с ферромагнитными телами, находящимися в потоках зерновых материалов;
- разработать математические модели статики и динамики ферромагнитных тел в магнитном поле электромагнитных сепараторов;
- сформулировать методы расчёта электромагнитных сепараторов;
- разработать конструкции энергосберегающих устройств извлечения ферромагнитных тел из потоков зерновых материалов и экспериментально доказать их высокую эффективность.

Также определены объект и предмет исследований:

- *объект исследований* – процессы взаимодействия магнитного поля с ферромагнитными телами в потоках зерновых материалов.
- *предмет исследований* - закономерности и математические модели процессов взаимодействия магнитного поля с ферромагнитными телами в потоках зерновых материалов.

Методы исследований. При проведении теоретических исследований использованы классические законы и закономерности физики (механики, электротехники) и методы математического моделирования процессов и аппаратов. Экспериментальные исследования в лабораторных и промышленных условиях проводились с использованием соответствующих приборов и аппаратуры контроля, измерений, фиксации и ПЭВМ для решения задач и обработки результатов наблюдений.

Научная новизна полученных результатов:

1. Исследована динамика ферромагнитных тел в рабочей зоне электромагнитного сепаратора и получены зависимости, которые учитывают взаимодействие параметров магнитного поля, среды и

ферромагнитного тела [92];

2. Впервые получена зависимость силы тока в обмотке сепаратора от расстояния ферромагнитного тела по отношению к магнитному полюсу электромагнита [90].

3. Разработана математическая модель взаимодействия ферромагнитного тела с магнитным полем, на базе которой получило дальнейшее развитие обоснование электротехнологических параметров электромагнитных сепараторов [97];

4. Получены закономерности поведения ферромагнитных тел и обоснованы процессы их извлечения многополюсным электромагнитным сепаратором [91];

5. Получил дальнейшее развитие метод расчета электромагнитных сепараторов для извлечения ферромагнитных тел из зерновых материалов с известными или наперед заданными электротехнологическими параметрами [93].

Практическая значимость полученных результатов

На базе исследований разработан метод расчета отдельных узлов и конструкций электромагнитных сепараторов. Исследовательские образцы проверены в производственных условиях на их работоспособность, надежность и эффективность сепарации.

Разработаны устройства для извлечения ферромагнитных тел из зерновых материалов (Пат. 38894 Україна МПК⁷ B03C 1/08 Вібромагнітний сепаратор от 21.11.00, Пат. 1113 Україна МПК⁷ B03C 1/02 Електромагнітний сепаратор от 07.08.01, Пат. 48528А Україна МПК⁷ B03C 1/02 Електромагнітний сепаратор от 26.09.2001), основными преимуществами которых являются: энергосберегающий режим работы («ждущий» - при отсутствии ферромагнитных тел система полностью обесточена) и экономия электротехнических материалов.

Результаты исследований в виде опытных образцов апробированы на Мелитопольском маслоэкстракционном заводе (МеМЭЗ) в линии переработки семян подсолнечника.

Личное участие автора состоит в следующем:

1. Проведен анализ законов и закономерностей, которые описывают поведение ферромагнитных тел в процессе их извлечения многополюсным электромагнитным сепаратором [90];

2. Разработаны и численно исследованы на ПЭВМ математические модели извлечения ферромагнитных примесей из зерновых материалов [92, 97];

3. Проведены теоретические и экспериментальные исследования влияния силы тока в катушке электромагнитного сепаратора, шихтовки его магнитопровода и размера ферромагнитных тел на процесс их извлечения [93].

4. Созданы новые отдельные узлы и конструкции электромагнитных сепараторов, проверена их работоспособность,

проведены экспериментальные исследования и разработаны методы расчета [59-61].

Апробация результатов диссертации.

Основные положения работы обсуждались на научных, научно-производственных конференциях и семинарах:

- на международной научно-технической конференции „Землеробська механіка на межі сторіч” (секция №5 „Розробка наукових методів та технічних засобів раціонального використання енергоресурсів в АПК” п.г.т. Кирилловка, 28-31.05.2001г.);
- на ежегодных научно-практических конференциях Таврической государственной агротехнической академии (1999-2004г.г.);
- Харьковского государственного аграрного университета сельского хозяйства (2000-2002 г. г.)..

Публикации. Основное содержание диссертации опубликовано в 16 научных работах: 13 - специализированные сборники, 3 - бюллетень открытий и изобретений «ПАТЕНТ» Украины.

Структура и объём диссертации.

Диссертационная работа состоит из введения, 4 разделов, выводов, списка использованной литературы и приложений. Полный размер диссертации - 136 страниц машинописного текста (в т.ч. 35 рис., 6 табл.), Список использованной литературы имеет 134 библиографических наименования.

РАЗДЕЛ 1

АНАЛИЗ СУЩЕСТВУЮЩИХ УСТРОЙСТВ И СИСТЕМ ИЗВЛЕЧЕНИЯ ФЕРРОМАГНИТНЫХ ПРИМЕСЕЙ ИЗ ПОТОКОВ ЗЕРНОВЫХ МАТЕРИАЛОВ

Одним из основных показателей качества зерновых материалов является содержание ферромагнитных примесей (ФМП). Например, согласно ДСТУ 40.004-99, ГОСТ 276-60, зоотехническим требованиям в товарной пшенице их должно быть не более 3 мг/кг [10, 32]. Такие требования вполне оправданы, так как превышение предельно – допустимого содержания ФМП в пищевых продуктах приводит к соответствующей физиологической несовместимости в организме человека.

Что касается животноводства, в частности приготовления кормов, особенно для крупного рогатого скота, зоотехническими требованиями установлены следующие нормативы: содержание ФМП не должно превышать 30 мг/кг корма и отсутствие ферромагнитных тел (ФМТ), размер отдельных частиц не должен превышать 2 мм [75].

Из всех существующих общеизвестных способов очистки сыпучих (ситовый, инерционный, седиментационный и др.) наиболее эффективным для извлечения ФМП из зерновых материалов является способ, основу которого составляет значительное различие в свойствах разделяемых веществ (немагнитные и магнитные), находящихся в постоянном магнитном поле. Создаваемое по этому способу соответствующее оборудование, относится к классу электромагнитных (магнитных) устройств: „ловушек”, сепараторов, железоотделителей и др. [25, 39, 68].

В данном разделе обобщены:

- результаты обследования технологий и устройств извлечения ФМП из потоков зерновых материалов, применяемых на сельскохозяйственных предприятиях;

- анализ литературного и патентного обзора по технологии и устройствам извлечения ФМП из потоков зерновых материалов, перерабатываемых в сельскохозяйственном производстве;

- сформулированы цель и задачи научного исследования, направленного на разработку энергосберегающих устройств извлечения ферромагнитных тел из потоков зерновых материалов, особенно на ранней стадии их переработки.

1. 1. Анализ технологий переработки зерновых материалов и путей их загрязнения ферромагнитными примесями

Наши наблюдения (раздел 3) говорят о превышениях в той или иной мере установленных норм содержания ФМП в кормах, что ведет к травмированию желудочно-кишечного тракта животных, их преждевременному забою, а следовательно и материальному ущербу.

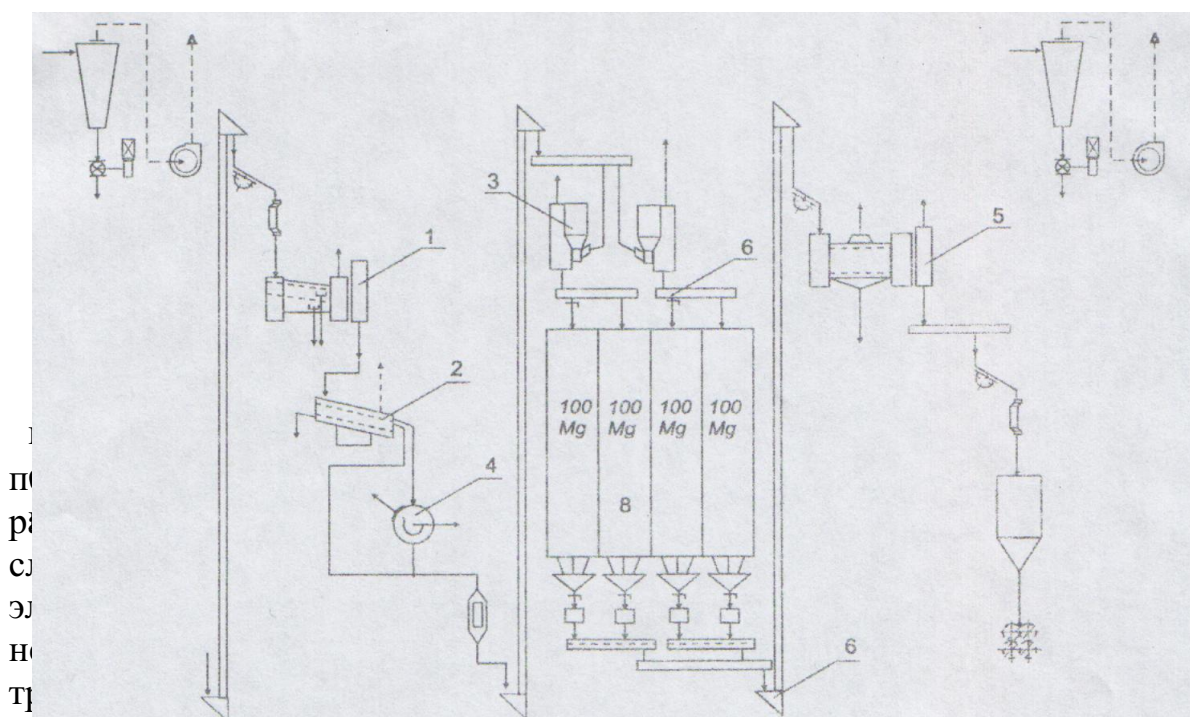
Что касается технологического оборудования, используемого при переработке зерновых материалов, то его надежность и долговечность напрямую зависит от присутствия в них ФМТ. Наши исследования, опираясь на опыт эксплуатации зерноперерабатывающих предприятий и пунктов, показали, что дорогостоящее оборудование выходит из строя раньше нормативного срока из-за попадания ФМТ крупных и средних размеров (обрезков стали, болтов, гаек, проволоки и др.) в рабочие полости. Это приводит к его поломке а, следовательно, к остановке производства, увеличению расхода электроэнергии и, как следствие к снижению экономических показателей предприятий [15, 34, 35, 45].

Анализируя более подробно стадии производства и переработки зерновых материалов, очевидны источники их загрязнения (рис.1.1): случайное попадание ФМТ при уборке и транспортировке (комбайн – автомобиль – оборудование первичной обработки на токе – автомобиль – элеватор – авто и - ж. д. транспорт и далее оборудование глубокой переработки) и постоянное поступление ФМЧ - продуктов износа рабочих органов и

внутренних поверхностей технологического оборудования. Эта схема нами скомпонована на основании литературных данных [12, 26, 29, 44, 54], непосредственных наблюдений и информации полученной от специалистов, обслуживающих технологические средства на различных стадиях производства, транспортирования и переработки зерновых материалов.

Приведенная схема не требует особых комментариев в части путей загрязнения ФМП зерновых материалов и продуктов их переработки – это общеизвестно, поэтому и предусмотрена в обязательном порядке стадия магнитной сепарации во всех технологиях: в поточные линии устанавливаются электромагнитные (магнитные) устройства („ловушки”, сепараторы, железоотделители), включая системы различных видов и типов [13, 33, 56, 78, 99, 120-134].

Однако литературные данные свидетельствуют и о том, что требование – наличие устройств извлечения ФМП в технологических линиях не всегда выполняется (рис.1.2). Рассматривая существующие технологии по



значительному износу, продукты которого, в виде мелких ФМЧ, попадают в готовую продукцию.

Необходимо отметить, что при выборе электромагнитных устройств для конкретных технологических линий, несмотря на общий принцип их работы – использование магнитного поля для извлечения

ФМП, должны учитываться особенности технологического процесса – параметры и свойства зерновых материалов [57, 84]; извлекаемых ферромагнитных тел и частиц и источника магнитного поля. Заметим, что существующая информация о свойствах ФМП, находящихся в потоках зерновых материалов, крайне скудна [10, 22, 54, 55, 105] в части размеров и формы ФМП. Кроме того, отсутствуют научно-обоснованные инженерные методы расчета устройств извлечения ФМП.

1.2. Классификация устройств и систем извлечения ферромагнитных примесей из зерновых материалов

Анализируя существующие электротехнологические устройства и системы извлечения ФМП из зерновых материалов, необходимо выделить несколько общеизвестных признаков классификации магнитных сепараторов [91].

На рис. 1.3 приведены основные сведения о сепараторах, применяемых на предприятиях в различных отраслях АПК [4, 82, 91, 102], которые кратко описаны ниже.

Ленточные магнитные сепараторы [20, 26, 29].

Электромагнитные сепараторы данного типа (ЭП-1М) (рис. 1.4), состоят из литого (или

шихтованного) сердечника, вокруг которого намотана электромагнитная обмотка. Электромагнит располагают над ленточными (иногда над шнековыми) транспортерами; позволяют извлекать крупные и среднего размера

Рис. 1.4. Ленточный электромагнитный сепаратор (тип ЭП-1М).
 примеси. Очистка полюсов (башмаков) электромагнитного сепаратора осуществляется вручную, после обесточивания обмотки (основные технические характеристики: подача $Q=10\ldots 20$ т/ч).

Каскадные [12, 33, 78]. Магнитная колонка БКМА2 представляет собой прямоточный канал, в алюминиевые стенки которого вмонтированы постоянные магниты (рис. 1.5). Сыпучие подают сверху, и ФМП осаж-

даются на полюсе магнитов (основные технические характеристики: $Q=3\ldots 15$ т/ч).

Магнитные сепараторы МАП, МА и др. [20, 55, 56] (рис 1.5). Материал, предназначенный для очистки, через входное отверстие подается в тройной каскадный нержавеющий шкаф. Каждый каскад расположен к предыдущему под тупым углом ($100\text{--}120^\circ$). Материал, проходя три раза через магнитные поля каскадов отводится обратно в трубопровод уже очищенным от ФМП. Магнитное поле образуется магнитными плитами, расположенными внутри поворотных люков каждого каскада. Постоянные магниты выполнены в виде полукруга из материала ПЕРМАГ А-3242, залитые эпоксидной смолой (основные технические характеристики: $Q = 32$ (75, 120) т/ч, $m = 113$ (168, 230) кг).

Барабанные магнитные сепараторы [45, 55, 101].

Электромагнитный сепаратор А1 – ДЭС (рис.1.6) и др. Принцип действия: сыпучие, подлежащие сепарации, подаются на вращающийся барабан, внутри которого

Рис. 1.6. Барабанный электромагнитный сепаратор А1-ДЭС.

размещена многополюсная электромагнитная система. Электромагнитная система состоит из магнитопровода с двумя боковыми и четырьмя промежуточными полюсами, на которых размещены четыре обмотки. При включении обмоток под постоянное напряжение создается магнитное поле, под действием которого ФМТ притягиваются к барабану и вращаются вместе с ним до зоны, в которой отсутствует поле. Очищенные сыпучие и уловленные ФМТ ссыпаются в соответствующие приемные бункеры (основные технические показатели сепаратора: производительность $Q = 20 \text{ т/ч}$, напряженность магнитного поля 80000 А/м , установленная мощность $P = 0,46 \text{ кВт}$). Недостатки: малая напряженность магнитного поля и наличие вращающихся частей.

Сепараторы электромагнитные СЭ, БСЭ и др. (рис. 1.7) [33, 35, 45]. Принцип действия следующий: продукт, подлежащий сепарации, по вибрационному лотку поступает на электромагнитный барабан, ФМП прилипают к его поверхности, а зерновой материал ссыпается вниз. Примеси с барабана удаляет вращающаяся капроновая щетка (основные технические характеристики $P_{\Pi} = 8,5 \text{ кВт}$; $U_{\Pi} = 110/220 \text{ В}$).

а
)

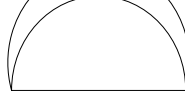
б
)



Рис. 1.7. Барабанные магнитные сепараторы а) СЭ, БСЭ, б) ДЛ-С1

ДЛ-С1 (рис 1.16) аналогичен СЭ [20, 101]. Вместо вибрлотка установлена бесконечная лента (основные технические характеристики $P_{\Pi} = 2,5 \dots 8 \text{ кВт}$; $U_{\Pi} = 110 \text{ В}$).

Трубные [20, 55, 78]. ТПМ-152 (280, 685), ТПМ-219 (380, 920). Трубные сепараторы (рис. 1.8) размещаются в вертикальных транспортных путях. Материал подается через входное отверстие на магнитный корпус, на котором и улавливаются ФМЧ. Магнитный корпус состоит из двух цилиндрических магнитов, где находятся постоянные магниты,



изготовленные из феррита типа „Дурокс 330”. Очистка магнитов проводится вручную при повороте магнитного корпуса наружу из шкафа (основные технические характеристики $Q=20..60$ т/ч, $m=24(72)$ кг).

ТЭМ-273 (480, 882, 1050) [91, 105]. Аналогичны ТПМ.

Отличительная особенность в том, что в качестве источников магнитного поля используются электромагниты постоянного тока. Очистка магнитного корпуса осуществляется автоматически так, что после остановки потока материала

сначала перемещается пневматически управляемая заслонка и потом при выключении магнита ФМП опадают в выходное отверстие при помощи заслонки (основные технические характеристики $Q=20(60, 90)$ т/ч, $U_{пит}=24$ В, $m = 64(130, 220)$ кг).

Краткий обзор сепараторов, используемых в настоящее время в технологических линиях переработки зерновых материалов, показывает их не-совершенство в автоматизации, очистки рабочих поверхностей и др.

Конфигурация полюсных наконечников.

Один из основных признаков классификации электромагнитных сепараторов – это конфигурация их полюсов (рис.1.9), с помощью которых магнитное поле «выталкивается» в рабочую зону, через которую проходит сепарируемый материал. Как показали наши исследования, что от объема и формы рабочей зоны зависят как технологические параметры сыпучих (скорость перемещения, сечение потока), так и энерго (электро)технические – параметры магнитопроводов и намагничивающих устройств. По мнению большинства авторов [25, 38, 39, 79], наиболее эффективными магнитными системами являются открытые многополюсные с чередующейся полярностью.

Рис. 1.9. Конфигурация полюсов электромагнитных сепараторов.

Конфигурация полюсов и межполюсное расстояние s значительно влияют на величину магнитной силы, действующей на тело, а значит и на качество извлечения.

1.3. Анализ существующих технологий перемещения зерновых материалов через рабочую зону электромагнитных сепараторов

По нашему мнению целесообразно ввести в существующую классификацию электромагнитных (магнитных) сепараторов отличительный признак - состояние зерновых материалов. Важность этого признака в том, что извлечение ФМП из сырья или продукции должно осуществляться в большей степени при перемещении зерновых материалов, и поэтому от состояния сыпучих будут зависеть конструкции устройств, источники поля и возможности регенерации улавливающих поверхностей.

Ниже приведены возможные случаи состояния зерновых материалов, перемещаемых в процессе переработки от одних операций к другим (рис. 1.10).

Как показали наши исследования (см. разд. 3.) наиболее перспективными, но малоизученными являются перемешивающийся и кипящий слой зерновых материалов, находящихся в магнитном поле.

На рис. 1.11 показаны наиболее распространенные места установки

магнитных сепараторов и в поточных технологических линиях переработки зерновых материалов [52].

Приведенный выше краткий анализ состояния зерновых материалов в рабочих зонах электромагнитных сепараторов, показывает, что задачи взаимосвязи параметров зернового материала, ФМП и поля еще мало изучены и требуют дальнейших исследований.

1.4. Анализ методов расчета устройств и систем извлечения ферромагнитных примесей из зерновых материалов

Единодушно исследователи [20, 25, 39, 69] показывают, что главным признаком эффективного разделения веществ по магнитным свойствам является выполнение условия силового взаимодействия между ФМП и полем (рис. 1.12):

$$F_m - \Sigma F_{\text{сопр}} - F_g = 0, \quad (1.1)$$

– магнитная сила, действующая на ФМП;

Σ – силы сопротивления извлечению ФМП;

– сила тяжести.

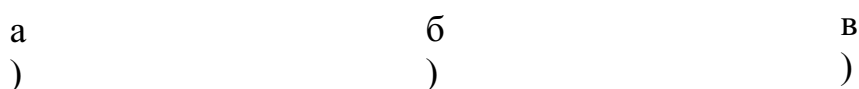


Рис. 1.12. Схема процесса магнитной сепарации с расположением магнитов: а) нижним; б) верхним; в) боковым.

С некоторыми уточнениями получено аналитическое выражение потенциальной энергии [20] в виде:

$$W = \frac{1}{2} \chi H^2 V, \quad (1.2)$$

где μ_0 – магнитная постоянная, равная $4 \cdot \pi \cdot 10^{-7}$, Гн/м; χ – удельная магнитная восприимчивость ФМП; H – напряженность магнитного поля, А/м.

С учетом (1.2) сила F_m (1.1) примет вид:

$$F_m = \mu_0 \chi V H \quad (1.3)$$

где F_m – сила притяжения ФМП к полюсу магнита, Н; V – объем ФМП, м³.

Допуская, что в пределах объема ФМП магнитная восприимчивость постоянна и изменение H невелико [65]:

$$F_m = \mu_0 \chi V \frac{dH}{dr} r \quad (1.4)$$

или отнесенная к массе:

$$f_m = \frac{\mu_0 \chi}{m} V \frac{dH}{dr} r \quad (1.5)$$

где $\frac{dH}{dr}$ – градиент напряженности поля, представляющий собой производную H в направлении r (наибольшего возрастания напряженности H); δ – плотность ФМП, кг/м³; m – масса ФМП, кг.

Следует отметить, что решения уравнений типа (1.4, 1.5) из-за неопределенности параметра $H \frac{dH}{dr}$ большинством авторов не приводятся (ни в аналитическом, ни в численном виде).

Некоторые авторы, например [20, 22] движение ФМП к полюсам электромагнитов (магнитов) представляют в виде дифференциальных уравнений:

$$\ddot{x} = -g + \frac{F_m}{m} \cos \alpha \quad (1.6)$$

где $\ddot{x}$ – проекция ускорения ФМП на ось x ; g , F_m и α – силы тяжести, притяжения ФМП к магниту и сопротивления среды, отнесенные к единице массы; α – угол наклона плоскости магнитного экрана к горизонту; $\dot{x}$ – первая производная; x – скорость перемещения тела (частицы) к полюсу.

Другими исследователями [29] рекомендуется рассматривать процесс извлечения ФМП из зерновых материалов следующим образом:

1. Определение времени извлечения ФМП магнитным полем:

$$t = \frac{m}{F_m} \ln \left(\frac{v_0}{v} \right) \quad (1.7)$$

где H – толщина слоя зерна, см; n – экспериментальный показатель степени, $n=1\dots3$; A – экспериментальный коэффициент, $A=2000\dots12000$; K – коэффициент сопротивления среды, для зерна пшеницы $K=280\text{ см}^{-1}\text{ с}^{-1}$.

2. Удержание извлеченного ФМП на поверхности полюса:

$$, \quad (1.8)$$

где r – радиус ФМП, м.

3. Определение оптимального соотношения между скоростью и толщиной слоя зерновых материалов:

$$, \quad (1.9)$$

где $j=2,28+0,38n$; v – скорость ФМП, м/с; l – протяженность магнитного поля, м.

Анализ других методов расчета электротехнологических параметров сепараторов и по выражениям (1.7-1.9) показал, что фактически расчет рекомендуется выполнять с использованием не объясненных и неопределенных коэффициентов j , n , причем большинство из них не имеют физического смысла.

Так коэффициент в формулах (1.2 - 1.5) не имеет описания, либо численных значений. Не указано также, какой из используется: μ – магнитная проницаемость вещества, μ_0 – удельная магнитная проницаемость, либо $\mu_{\text{т}}$ – магнитная проницаемость тела.

Другим неопределенным показателем является величина H_{gradH} – основная, характеризующая магнитное поле, численное значение которой для конкретных условий (конструкций устройств и систем) как правило отсутствует. В силу трехмерности магнитного поля его расчет является сложнейшей задачей, с множеством допущений [8, 14, 17, 18].

Следовательно, выражения (1.6-1.8) не могут быть применены для исследования процесса извлечения ФМП из зерновых материалов, и тем более для расчета устройств.

Другие авторы используют для расчетов экспериментально полученные зависимости [20]:

$$, \quad (1.10)$$

где A – коэффициент; h – расстояние между ФМП и устройством извлечения, см.

Здесь же указано что, «.....для реальных условий сепарирования коэффициент A колеблется от 2000 до 12000, а показатель n – от 1 до 3». Методика выбора коэффициента при различных телах (форме, размере), параметрах сепаратора в [20] не приводится.

По нашему мнению эти коэффициенты имеют значительный разброс по величине. Например, они варьируются для $h=3$ см в пределах от 74 до 4000 Н/кг.

Таким образом, можно сделать вывод, что существующие методы расчета не корректны, особенно с позиций экономии материальных и энергетических ресурсов.

На основе вышеизложенного (разд. 1.1-1.4) сформулированы задачи исследований по разработке энергосберегающих устройств извлечения ФМП из зерновых материалов и методов их расчета.

ВЫВОДЫ И ПОСТАНОВКА ЗАДАЧ ИССЛЕДОВАНИЯ

На основе результатов анализа литературных и патентных исследований по проблеме качества сырья и продукции при переработке зерновых материалов на наличие ФМП, можно сделать следующие выводы

1. Анализ литературных исследований и результатов обследования сельхозпредприятий показали, что существующие устройства и системы извлечения ферромагнитных тел из зерновых материалов малоэффективны (эффективность извлечения не превышает 68-75%), материало- и энергоемки (вес – до 1500 кг, установленная мощность 3...4,5 кВт), не допускают включения их в общую схему автоматизации поточных линий первичной и глубокой переработки (из-за ручного обслуживания)

2. Технологии и технические средства извлечения ФМП из зерновых материалов нуждаются в совершенствовании путем проведения более глубоких исследований составляющих процесса как теоретически, так и экспериментально с целью разработки на этой основе эффективных энерго- ресурсосберегающих устройств, включающих в себя блоки обнаружения и контроля наличия ФМТ, а, следовательно, работающих в энергосберегающих («ждущих») режимах.

Для устранения наиболее существенных недостатков в электромагнитных устройствах извлечения ФМТ из потоков зерновых материалов были сформулированы и решены следующие задачи:

- проанализировать существующие технологии и технические средства извлечения ферромагнитных тел из потоков зерновых материалов и обосновать пути их совершенствования;

- обосновать и аналитически исследовать взаимодействие магнитного поля с ферромагнитными телами, которые находятся в потоках зерновых материалов;

- разработать математические модели статики и динамики ферромагнитных тел в магнитном поле электромагнитных сепараторов;
- сформулировать методы расчета электромагнитных сепараторов;
- разработать конструкции энергосберегающих устройств извлечения ферромагнитных тел с потоков зерновых материалов и экспериментально доказать их высокую эффективность.

РАЗДЕЛ 2

МАТЕМАТИЧЕСКИЕ МОДЕЛИ ИЗВЛЕЧЕНИЯ ФЕРРОМАГНИТНЫХ ТЕЛ ИЗ ЗЕРНОВЫХ МАТЕРИАЛОВ

Ранее было показано (разд. 1.1 - 1.3), что разделение (сепарация) сыпучих материалов по магнитным свойствам основано на взаимодействии ФМТ с полем и реализуется путем создания соответствующего оборудования, относящегося к классу электромагнитных (магнитных) сепараторов [1, 8, 14, 17, 18, 25, 39, 58, 64, 105].

Также показано [94], что недостаточная изученность явлений и процессов взаимодействия ФМТ с магнитным полем при извлечении их из зерновых материалов является одной из причин несовершенства существующих конструкций устройств и систем (большая металло- и энергоемкость электромагнитных сепараторов, режим постоянного их включения, вне зависимости наличия в слое сыпучих извлекаемых тел), применяемых в сельскохозяйственном производстве.

В данном разделе представлены следующие материалы:

- основы теории взаимодействия ФМТ с магнитным полем;
- математические модели, описывающие статику и динамику ФМТ в рабочей зоне сепараторов;
- метод расчета электромагнитных сепараторов с системой полюсов чередующейся полярности;
- результаты численных исследований математических моделей, отражающих качественную и количественную взаимосвязь свойств, характеристик и параметров зерновых материалов, ФМТ и магнитного поля в рабочей зоне электромагнитных сепараторов;

Разработка математических моделей статики и динамики ФМТ в магнитном поле, на которых базируются расчеты конструкций, устройств и систем, осуществлялась на основе существующей методологии математического моделирования процессов и аппаратов [6, 17, 25, 39, 108], суть, которой представлена следующим алгоритмом:

- составление систем уравнений или зависимостей (математических моделей), описывающих те или иные физические явления и процессы на основе законов и закономерностей;
- численное исследование систем уравнений и зависимостей;
- анализ результатов численного исследования систем уравнений и зависимостей;
- постановка эксперимента согласно математическим моделям;
- корректировка математических моделей с учетом полученных экспериментальных данных;
- использование математических моделей для разработки и проектирования новых и совершенствования соответствующих технологий и технических средств для извлечения ФМТ из зерновых материалов.

При составлении математических моделей статики и динамики ферромагнитных тел в магнитном поле мы придерживались вышеуказанного алгоритма.

2.1. Теоретические основы взаимодействия ферромагнитных тел с магнитным полем

В общем процессе извлечения ФМТ из зерновых материалов, безусловно, наиболее важным составляющим звеном является магнитное поле, поскольку только в пространстве занятым полем происходит взаимодействие ФМТ с полюсами магнитной системы. Другие факторы, влияющие на извлечение ФМТ – силы тяжести и сопротивления среды, также важны, однако они наиболее полно изучены и были использованы без каких – либо корректировок.

Классическая система уравнений (Максвелла) электромагнитного поля имеет вид [58, 64, 85]:

(2.1)

где E – напряженность электрического поля; ρ – плотность электрического заряда; ϵ_0 – диэлектрическая постоянная; B – магнитная индукция; C – скорость света; j – плотность электрического тока.

Выделим из (2.1) для анализа уравнение 3) магнитного поля; для 3хмерной системы координат оно будет иметь вид:

или

(2.2)

Применительно к конкретным условиям многие авторы [25, 39, 79], используя уравнение (2.2) при определенных допущениях, получили зависимости, характеризующие магнитное поле различных устройств. Эти зависимости мы использовали, как базовые для разработки электромагнитных сепараторов.

2.1.1. Магнитное поле сепараторов с многополюсными электромагнитами

Многополюсные электромагниты наиболее часто применяется в сепараторах, используемых в различных отраслях народного хозяйства, например при обогащении полезных ископаемых [25, 39]; их характеристики и параметры изучены в общем виде, однако при разработке и проектировании конкретных конструкций, устройств и систем необходимы или дополнительные экспериментальные сведения,

либо закономерности их отражающие.

Вначале Сочневым А.Я. [79], а затем Деркачем В.Г. [25], Кармазиным В.И. [39] и другими для многополюсных систем основные уравнения (2.2) плоского магнитного поля, в котором отсутствуют электрические токи, в декартовых координатах преобразованы к виду:

$$\Delta H = 0, \quad (2.3)$$

где $H(\gamma, x, y)$ – напряженность магнитного поля в точке; γ, x, y – координаты положения точки; γ – угол между осью y и направлением вектора H , отсчитываемый по часовой стрелке (на рис. 2.1 представлена схема рассматриваемой магнитной системы).

Рис. 2.1. К расчету поля электромагнитной системы с чередующейся полярностью.

Из уравнения (2.3) видно, что $\ln H$ и угол γ представляют собой сопряженные гармонические функции, каждая из которых удовлетворяет уравнению Лапласа [85].

Закрепим начало координат в средней точке одного из полюсов и направим ось y нормально к их поверхности, а ось x в направлении поперечном полюсам. Из условий симметрии, угол γ образуемый направлением вектора H с осью y , во всех точках поля плоскости, проходящий через середину полюсов, равен нулю, а во всех точках плоскости, проходящей через середину зазора между полюсами, равен 90° ,

т.е. при $x=0$, $\gamma=0$, а при $x=0,5 \cdot s$, $\gamma=90^\circ$ (где s – межполюсное расстояние); на уровне поверхности полюсов $y=0$, $H_y = H_0$, а при $y=0,5 \cdot s$, $H_y = 0$, где H_0 – напряженность поля на полюсах электромагнита.

Таким образом, определение H сводится к интегрированию уравнения поля (2.3) при вышеприведенных граничных условиях.

Одним из возможных решений системы уравнения поля (2.3) будет такое при котором [79]:

(2.4)

где c , c_1 и c_2 – постоянные интегрирования.
Пользуясь граничными условиями, находим:

(2.5)

где ψ – коэффициент неоднородности поля.

Приведенные равенства удовлетворяют как уравнению поля (2.4), так и граничным условиям (2.5), следовательно, это будет решение задачи [79]:

(2.6)

Таким образом, полученные авторами зависимости (2.6) описывают распределение напряженности поля в 2х мерном пространстве, что позволяет их использовать при определении сил, действующих на магнитные тела в рабочей зоне сепараторов, снабженных электромагнитами такой конструкции. Заметим также, что в сепараторах, как правило, применяются открытые многополюсные электромагниты.

2.1.2. Взаимодействие ферромагнитного тела с магнитным полем в рабочей зоне многополюсного электромагнитного сепаратора

Определение сил, действующих на ферромагнитные тела, находящихся в поле, образованном магнитной системой чередующейся полярности, осуществляется по следующему алгоритму.

В общем виде магнитная сила, действующая на ФМТ равна [25, 39]
:

(2.7)

или для двухмерной системы координат:

(2.8)

где μ_0 – магнитная постоянная; χ_T – магнитная восприимчивость тела; V – объем тела; $(H \cdot \text{grad} H)_x$, $(H \cdot \text{grad} H)_y$, – характеристики магнитного поля по осям координат (напряженность поля H и скорость ее изменения $\text{grad} H$ в направлении движения тела).

Применительно к рассматриваемой системе (рис.2.1), напряженность поля по осям координат x и y равна (2.6):

(2.9)

Дифференцируя (2.9) по соответствующим осям, получим:

(2.10)

Подставляя (2.9 и 2.10) в (2.8) и выражая силу F_m (2.7) по осям координат x , y , получим:

(2.11)

Анализируя выражения (2.11) путем подстановки граничных условий, получим значения сил в рабочей зоне электромагнита:

$$\left. \begin{array}{ll} \text{При } y = 0 \text{ и } x = 0 & F_{\text{мумах}} \quad F_{\text{мх}}; \\ \text{При } y = 0 \text{ и } x = \pi/2 & F_{\text{му}} = 0 \quad F_{\text{мх}} = \max. \end{array} \right\} \quad (2.12)$$

Из (2.11), (2.12) следует, что под серединой обмоток электромагнита магнитная сила поля $F_{\text{мх}}$, действующая на ФМТ меньше, чем под полюсами $F_{\text{му}}$. Поэтому в дальнейшем будем использовать только $F_{\text{му}}$ в обозначении $F_{\text{м}}$:

$$\cdot \quad (2.13)$$

Таким образом, на ФМТ в рабочей зоне действует магнитная сила, которая направлена вертикально (по оси y) к полюсам электромагнита и зависит от параметров поля, тела и его положения под полюсом.

Другие силы - сопротивления среды $F_{\text{с}}$ и тяжести $F_{\text{т}}$, действующие на ФМТ, общеизвестны и их формулировки приведены без выводов:

– сила сопротивления среды [21, 36, 88, 89, 106]

$$\cdot, \quad (2.14)$$

где λ – коэффициент гидравлического сопротивления среды; ρ_1 – плотность среды, в которой находится тело; U – скорость движения тела;

S – поперечное сечение тела, для шара

$$\left. \begin{array}{ll} \text{При} & 0 < Re \leq 2 \quad \lambda Re; \\ & 2 < Re \leq 2300 \quad \lambda Re^{0,6}; \\ & Re \geq 2300 \quad \lambda \end{array} \right\} \quad (2.15)$$

где $Re = d \cdot U \cdot \rho_1 / \eta$ – число Рейнольдса; d – диаметр тела; U – скорость тела; η – динамическая вязкость среды.

– сила тяжести:

$$\quad (2.16)$$

где – масса тела (шара); g – ускорение свободного падения; ρ_2 – плотность тела.

Полученные формулы (2.13 – 2.16) нами использовались для разработки математических моделей, описывающих статику и динамику

взаимодействия ФМТ с магнитным полем в рабочей зоне электромагнитных сепараторов.

2.2. Статическая модель взаимодействия ферромагнитных тел с магнитным полем

Статическая модель (рис. 2.2) составлена при следующих допущениях:

- ФМТ имеет сферическую форму, находится на транспортной ленте под невесомым слоем зерна (F_C

- на ФМТ действуют только сила тяжести F_T и магнитная F_M .

Из принятых допущений следует, что:

- если магнитная сила больше силы тяжести ($F_M > F_T$), то ФМТ перемещается в направлении электромагнита и в любом случае будет извлечено с поверхности ленты транспортера с последующим закреплением на полюсе;

- если магнитная сила меньше силы тяжести ($F_M < F_T$), то ФМТ не будет извлечено с поверхности ленты транспортера и попадет в готовый продукт;

- если магнитная сила равна силе тяжести ($F_M = F_T$), то ФМТ находится в положении на определенном равновесном расстоянии Y_P от полюса; для извлечения ФМТ необходимо, чтобы F_M была „чуть – чуть” больше F_T .

Рис. 2.2. Схема расположения ФМТ под полюсом электромагнита:

F_M – сила магнитного поля; F_C – сила сопротивления среды; F_T – сила тяжести.

Это равновесное расстояние Y_P с одной стороны определяет толщину (высоту) слоя зерновых материалов на ленте, с другой – высоту подвеса электромагнита сепаратора над транспортером.

Приравнивая между собой силы тяжести и магнитную, определим силу тока I в обмотке электромагнитного сепаратора в зависимости от

положения ФМТ под полюсом Y_P (знаки перед FT и FM зависят от направления оси y):

$$, \quad (2.17)$$

Решая (2.17) относительно $H = f(Y_P)$, получим:

$$. \quad (2.18)$$

По закону полного тока, для закрытых магнитопроводов (рис.2.3.а), имеющих зазор L_0 , число ампервитков равно [43, 64]:

$$(2.19)$$

где H_0 , L_0 – напряженность поля и длина силовой линии между полюсами в рабочей зоне сепаратора; H_i , L_i – напряженность поля и длина силовой линии в магнитопроводе; I – сила тока в обмотке; w – число витков обмотки.

Средняя линия L_0 для открытых систем (рис.2.3) будет больше в ψ раз, т.е.:

$$. \quad (2.20)$$

Коэффициент ψ характеризует неоднородность поля в рабочей зоне сепаратора.

Теоретически можно считать, что коэффициент $\psi = 1$, тогда L_0 s, однако фактически $\psi > 1$ и, как правило, определяется экспериментально.

Подставляя (2.19, 2.20) в (2.18) и решая относительно силы тока I в обмотке, получим:

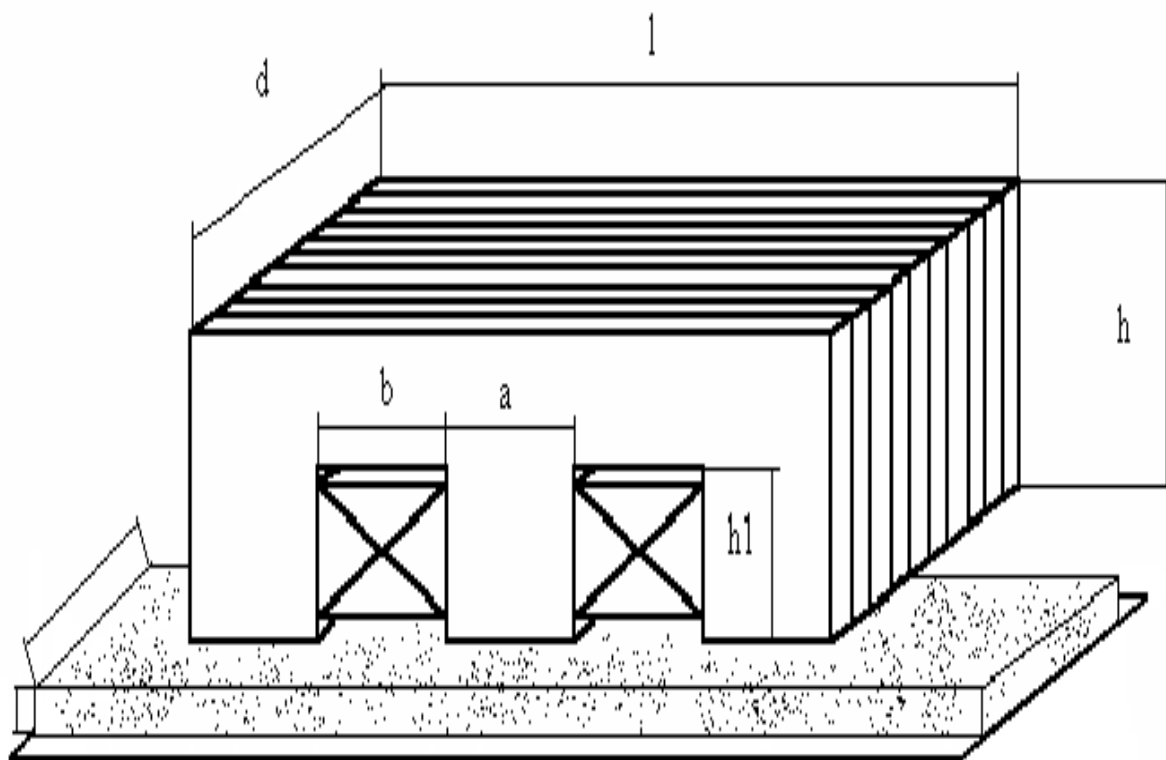
(2.21)

Зависимость (2.21) является определяющей, поскольку связывает основные параметры: электромагнитного сепаратора – силу тока I , число витков w и межполюсное расстояние s в обмотке, технологии – толщину (высоту) слоя Y_P зерновых материалов на ленте и ферромагнитного тела – плотность ρ_2 , магнитную восприимчивость χ_T .

2.3. Инженерный метод расчета электромагнитных сепараторов

На основе зависимости (2.21) разработан инженерный метод расчета электромагнитных сепараторов, обеспечивающий взаимосвязь практически всех электротехнологических параметров и дальнейший выбор конструктивных решений для всего устройства извлечения ферромагнитных тел из зерновых материалов [53, 96].

В Инженерный метод расчета электромагнитных сепараторов учитывают все электротехнические и технологические параметры (рис.2.4), а именно – электромагнитной системы, ферромагнитного тела и слоя зерна (исходные данные для расчета представлены в приложении А).



(2.22)

где $Q_{тр}$ - производительность (подача) транспортера, кг/с;

$U_{тр}$ - скорость транспортной ленты, м/с;

B_l - ширина транспортной ленты, м;

k - коэффициент, учитывающий ширину слоя на ленте, б/р;

$\rho_{нв}$ - насыпной вес зерна, кг/м³.

- электротехническая часть.

Межполюсный шаг s , м, определяется по формуле:

$$s = \frac{a}{2p} \quad (2.23)$$

где a - ширина полюса, м;

b - ширина окна обмотки, м.

Длина среднего витка обмотки $l_{ср.витка}$, м:

$$l_{ср.витка} = \pi (a + b) \quad (2.24)$$

где d - ширина магнитопровода, м.

Сечение провода q_1 , м²:

$$q_1 = \frac{I_{ср.витка}}{j} \quad (2.25)$$

где $d_{пр}$ - диаметр обмоточного провода, м.

Сечение окна обмотки q_0 , м²:

$$q_0 = \frac{q_1}{k_z} \quad (2.26)$$

где h - высота окна магнитопровода, м.

Число витков, w , ед.:

$$w = \frac{l_{ср.витка}}{d_{пр}} \quad (2.27)$$

где k_z - коэффициент заполнения, б/р.

Длина провода обмотки $l_{обм}$, м:

$$l_{обм} = l_{ср.витка} \cdot w \quad (2.28)$$

Сопротивление обмотки $R_{обм}$, Ом:

$$R_{обм} = l_{обм} \cdot \rho_m \quad (2.29)$$

где ρ_m - удельное сопротивление обмоточного провода (медь), Ом·м.

Сила тока в обмотке I , А:

$$I = \frac{P}{U}, \quad (2.30)$$

где $j(\text{var})$ - плотность тока в обмотке, А/мм^2 .
Мощность P , Вт:

$$P = I^2 R, \quad (2.31)$$

Средняя длина силовой линии в воздушном пространстве, L_0 , м:

$$L_0 = \frac{1}{2} \left(\frac{1}{r_1} + \frac{1}{r_2} \right) \cdot \frac{1}{\sin \alpha}, \quad (2.32)$$

Напряжение на обмотке U , В:

$$U = I R, \quad (2.33)$$

Учитывая зависимости (2.22-2.33) и объединяя с (2.21) получена расширенная определяющая зависимость:

$$I = f(Y_P), \quad (2.34)$$

В качестве примера (рис. 2.5) произведен расчет зависимости силы тока в обмотке от положения тела (шара) под полюсом (Y_P в мм), вычисленный для экспериментального электромагнитного сепаратора (разд.3, рис. 3.14, табл. 3.1):

Рис. 2.5. График зависимости $I = f(Y_P)$ для шара.

Для данной конструкции зависимость (2.21) имеет вид (для ФМТ – шар):

$$\dots \quad (2.35)$$

Для определения времени и длины рабочей зоны при извлечении ФМТ, воспользуемся законом прямолинейного равноускоренного движения тел [58]:

$$\dots \quad (2.36)$$

полагая, что начальная скорость $U_{yp(o)} = 0$, определим скорость ферромагнитного тела в зависимости от его положения по вертикали (по оси y):

$$\dots \quad (2.37)$$

Ускорение тела a определим из второго закона механики при условии, что

$$\dots \quad (2.38)$$

откуда

$$\dots \quad (2.39)$$

С учетом (2.39) скорость U_{Yp} ферромагнитного тела в зависимости от его положения по вертикали (по оси y) в рабочей зоне равна:

$$\dots$$

$$\cdot \quad (2.40)$$

По значениям скорости U_{Yp} вначале $Y = Y_p$ и в конце его движения $Y = Y_0$ определим среднюю скорость тела по вертикали:

$$\text{при } U_{Yp} = 0 \quad (2.41)$$

Зная среднюю скорость ферромагнитного тела по вертикали U_{Ycp} нетрудно определить время извлечения:

$$\cdot \quad (2.42)$$

и длину пути извлечения, фактически длину рабочей зоны сепаратора:

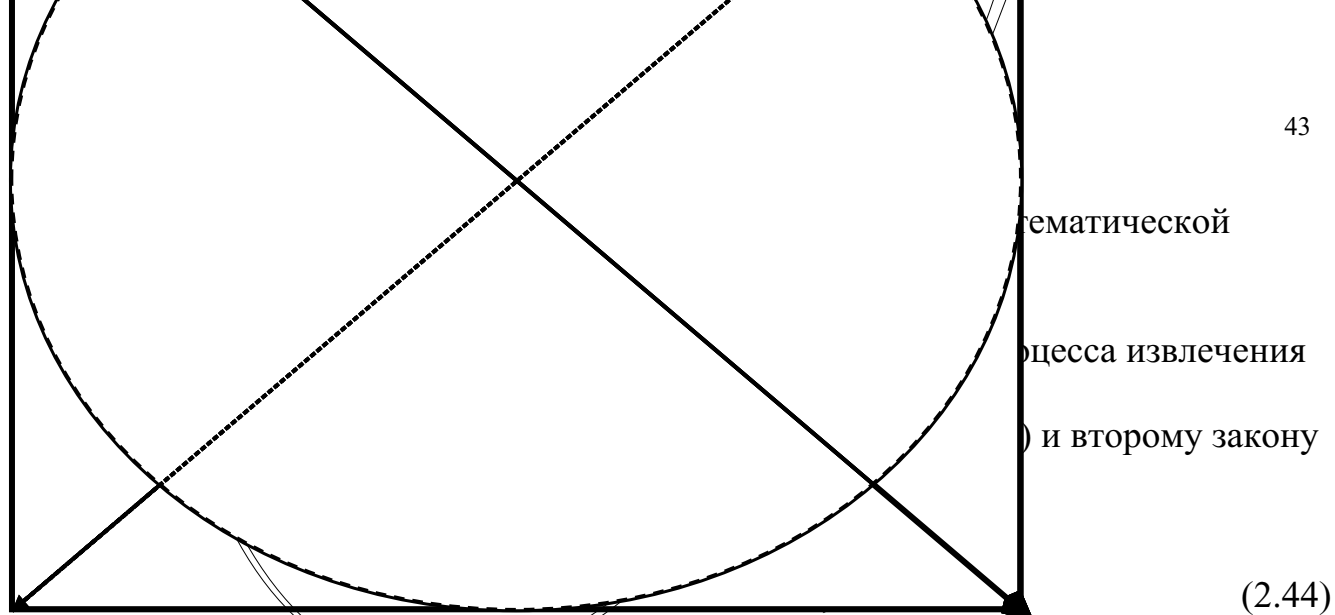
$$(2.43)$$

Обобщая вышеизложенное и сопоставляя расчетные и экспериментальные данные (разд. 3. рис. 3.22), можно утверждать, что предлагаемый метод расчета (2.22- 2.33 и 2.36-2.43) наиболее полно отражает суть физических явлений извлечения ФМТ из зерновых материалов, учитывает технологические, конструктивные и электрические параметры и рекомендуется для использования в инженерной практике.

Более полный учет всех электротехнологических параметров и временных характеристик извлечения ФМТ магнитным полем из зерновых материалов должен осуществляться с помощью динамической модели.

2.4. Динамическая модель взаимодействия ферромагнитных тел с магнитным полем

Математическая модель динамики ФМТ в магнитном поле включает в себя выше перечисленные параметры статики, а также скорость, траекторию и время перемещения ФМТ по вертикали и горизонтали. Такая модель, как правило, универсальна и наиболее полно учитывает законы и закономерности явлений и процесса в целом [97], поэтому здесь приведен более подробный алгоритм ее составления и численного анализа применительно к конкретным условиям разработки и проектирования устройств и систем.



где — соответственно силы: результирующая, сопротивления среды, тяжести и магнитного поля, H .

Силы, входящие в (2.44), определены выше и равны:

$$\begin{aligned}
 & \left. \begin{aligned} & \dots \\ & \dots \end{aligned} \right\} .3 \\
 & \dots ; \\
 & \dots .3 ; \\
 & \dots .3
 \end{aligned}
 \tag{2.45}$$

Рис. 2.6. Схема расположения ФМТ под полюсом электромагнита:
 Y_p – начальное положение тела.

Подставляя (2.45) в (2.44) с учетом того, что $F_p = m \cdot a$, получим:

.3

. (2.46)

Применительно к конкретной электромагнитной системе, создающей магнитное поле (рис.2.6) уравнение (2.46) в дифференциальной форме, записанное относительно скорости U_Y и траектории (пути) Y_P , примет вид:

$$\left. \begin{array}{l} \\ \\ \end{array} \right\} .3 \quad ; \quad (2.47)$$

с начальными условиями: при $t = 0$; $t(0) = 0$; $U_Y(0) = 0$; $Y_P(0) = Y_P$.

Принимая, что скорость перемещения ферромагнитного тела U_X по оси x равна скорости транспортера $U_{тр}$ в горизонтальном направлении, можем записать, что путь, пройденный телом по оси x равен:

(2.48)

при $t(0) = 0$, $x(0) = 0$.

В случае если ФМТ находятся на центральной оси обмотки (рис.2.1 пункт), то это положение считается неустойчивым, поскольку может перемещаться к любому из близлежащих полюсов - вправо или влево.

Полученные системы дифференциальных уравнений (2.47, 2.48) являются математическими моделями движения ФМТ в магнитном поле рабочей зоны сепаратора, содержащего электромагниты с полюсами чередующейся полярности. Как показал анализ результатов моделирования и их сопоставление с экспериментальными данными, что для расчета и проектирования электромагнитов достаточно системы уравнений (2.47, 2.48).

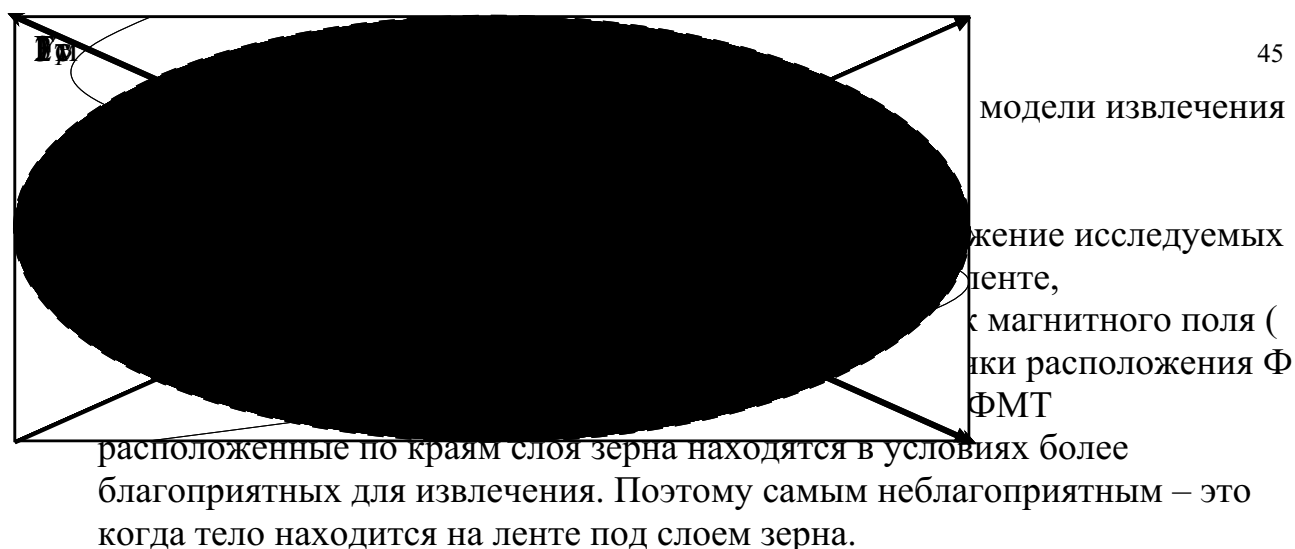


Рис.2.7. Взаимное расположение объектов: 1 – транспортер; 2 – слой зерна с ФМТ; 3 – элемент электромагнитной системы. Каждый из приведенных объектов обладает основными свойствами и параметрами: транспортер – размеры и скорость перемещения ленты; зерновые материалы – размеры, насыпной вес, скорость перемещения слоя (как правило, равна скорости ленты); ферромагнитные тела – размер, форма, плотность, магнитная восприимчивость; источник магнитного поля – напряженность H и скорость ее изменения $\text{grad } H$ по направлению движения ферромагнитных тел.

Перечисленные основные параметры нами учитывались при анализе математической модели, описывающей динамику ФМТ в рабочих зонах магнитных сепараторов.

С целью определения основных динамических характеристик движения ФМТ – времени t , скорости U и траектории перемещения YR к полюсам электромагнита, системы уравнений (2.47) и (2.48) многократно решались численным методом при варьировании выше перечисленными параметрами.

Условия извлечения ФМТ из зерновых материалов были приняты следующие:

- ферромагнитные тела имеют сферическую форму;
- лента транспортера перемещается с постоянной скоростью;
- вес „столба” слоя зерновых материалов, опирающегося на тело, не учитывался;
- электромагнит подключен к источнику постоянного тока;
- параметры и размеры исследуемых объектов были такими же, как и при анализе статической модели.

Дифференциальные уравнения (2.47, 2.48), описывающие движение ферромагнитного тела в рабочей зоне магнитного сепаратора исследовались численным методом Рунге-Кутты [40] на ПЭВМ.

С целью сокращения компьютерного времени, наглядности представления результатов и для более качественного анализа одновременно исследовалось движение 5и сферических тел. Для этого была запрограммирована система из 15и дифференциальных уравнений (по 3и на каждое тело), при условии, что тела не взаимодействуют между собой (рис.2.8), а каждая обмотка имеет независимый источник питания.

Ниже приведен компьютерный вариант записи системы уравнений (2.47, 2.48) для 5и сферических ФМТ:

где $x_0(t)$, $x_2(t)$, $x_4(t)$, $x_6(t)$, $x_8(t)$ – скорость движения ферромагнитных тел (соответствующих размеров) к полюсам электромагнита, м/с;

$x_0(0)$, $x_2(0)$, $x_4(0)$, $x_6(0)$, $x_8(0)$ – начальная скорость движения тех же тел, м/с;

$x_1(t)$, $x_3(t)$, $x_5(t)$, $x_7(t)$, $x_9(t)$ – расстояние "слой зерна - полюс электромагнита" тех же тел, м;

$x_1(0)$, $x_3(0)$, $x_5(0)$, $x_7(0)$, $x_9(0)$ – начальное расстояние "слой зерна - полюс электромагнита" тех же тел, м.

Исходные данные представлены в виде (пояснения к обозначениям см. с.43-46):

const:

$\mu_0 := 4 \cdot \pi \cdot 10^{-7}$ Гн/м,

$g := 9,81$ м/с²;

неизменяемые параметры:

$\rho_1 := 1,25$ кг/м³, $\rho_2 := 7,8 \cdot 10^{-3}$ кг/м³,

$a := 0,06$ м, $b := 0,037$ м,

$c_1 := 0,08$ м, $c_2 := 0,210$ м,

$h_1 h_2$

изменяемые параметры:

$d := 0,003$ м, $k_z := 0,55$ б/р, ψ

$I_1 := 14$ А, $I_2 := 15$ А,

$I_3 := 20$ А,

$I_4 := 25$ А, $I_5 := 30$ А,

$d_1 := 0,005$ м, $d_2 := 0,010$ м,

$d_3 := 0,015$ м, $d_4 := 0,020$ м,

$d_5 := 0,025$ м.

3. Расчетные формулы: – межполюсный шаг,

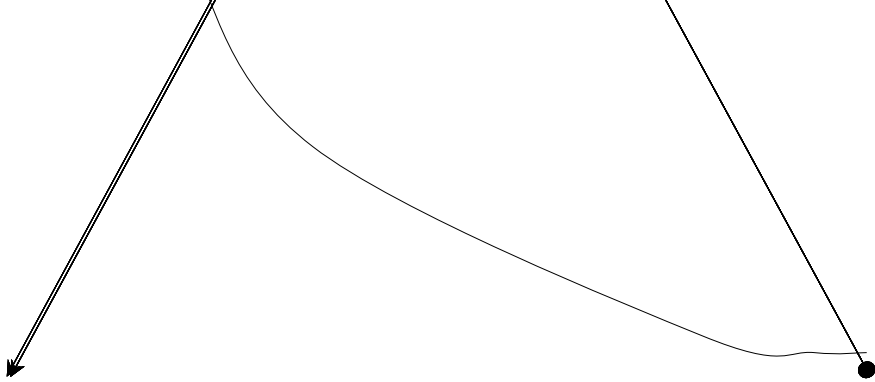
– сечение окна магнитопровода,

– сечение провода обмотки,

– число витков обмотки,

- напряженность поля на полюсе 1,
- напряженность поля на полюсе 2,
- напряженность поля на полюсе 3,
- напряженность поля на полюсе 4,
- напряженность поля на полюсе 5.

На рис. 2.9 –2.11 показаны результаты численного интегрирования математических моделей (2.47 и 2.48), а именно графические зависимости изменения скорости U и расстояний Y_P и x перемещения ФМТ относительно времени t в магнитном поле рабочей зоны сепаратора при изменении различных параметров ФМТ, поля и зернового слоя (размер тела, сила тока в обмотке, высота слоя в обмотке).



2.4.3. Анализ результатов моделирования математической модели извлечения ферромагнитных тел из зерновых материалов

Результаты моделирования математической модели динамики ФМТ в магнитном поле электромагнитного сепаратора сформированы и представлены в таком виде, что не требуют специальных комментариев. На графиках приведены скорости U и траектории перемещения ФМТ по оси y Y_P и по оси x – X . Полученные графики совмещены таким образом, что фактически являются номограммой (пунктирные линии) для считывания результатов и использования их при проектировании устройств извлечения ФМТ из зерновых материалов.

В частности, на приведенных графиках показано:

- рис.2.9 – изменение скорости и траектории движения ферромагнитных тел размером $d\Delta I A$ и начальном расстоянии положения тел $Y_P(0)$
- на рис.2.10 – тоже, но с одним размером ферромагнитного тела $dIA (\Delta IA)$;
- на рис.2.11 – тоже, но при различных начальных положениях тел $Y_P(0)$ –var. Этот вариант решения уравнений наглядно показывает, что тела, расположенные ниже $Y_P(0)$

2.5. Рекомендации по разработке новых и совершенствованию существующих электромагнитных сепараторов для извлечения ФМТ из зерновых материалов

Инженерный метод расчета электромагнитных сепараторов для извлечения ферромагнитных тел из зерновых материалов (2.23–2.43) рекомендуется использовать как при разработке новых конструкций и систем, так и при совершенствовании существующих.

Метод сформирован таким образом и в такой последовательности, что не требует специальных знаний от проектировщиков. При выполнении расчетов достаточно сведений по общей электротехнике и механике перемещения сыпучих материалов, а так же паспортных данных об устройствах транспортирования, электротехническом железе и обмоточном проводе.

Математическая модель динамики ферромагнитных тел в магнитном поле электромагнитных сепараторов (2.47, 2.48) сложнее и требует специальных знаний по теоретическим основам электротехники и механики, а так же навыков численного дифференцирования и интегрирования функций и уравнений. Кроме того, необходимы определенные навыки работы на ПЭВМ.

Варьируя соответствующими параметрами ферромагнитных тел, среды, в которой они находятся и магнитного поля, применительно к конкретным устройствам (сепараторы), и многократно интегрируя математическую модель определяются как конструктивные (габариты,

ампервитки и т.д.) так и другие электротехнологические характеристики (скорость, перемещение материала, толщина слоя и др.) процесса в целом, что позволяет получать данные, необходимые для проектирования и эксплуатации электромагнитных устройств извлечения ФМТ из зерновых материалов.

Выводы

1. На основании законов и закономерностей механики и электротехники, получена и теоретически обоснована новая зависимость для определения силы тока в обмотке от положения тела в рабочей зоне электромагнита $I=f(Y_p)$.

2. Разработан метод расчета электромагнитных сепараторов для поточных линий по переработке зерновых материалов, который учитывает параметры: технологические – производительность (подача) Q ; электротехнические – питающее напряжение U , мощность P , число витков W и сечение провода обмотки q_1 ; магнитная восприимчивость тела χ_T , размагничивающий фактор тела N , и геометрические размеры зернового слоя – высота слоя Y_p и магнитопровода (длина $l \times$ ширина $d \times$ высота h).

3. Для конкретного образца: ширина ленты транспортера $B=0,55$ м, производительность кг/с, высота слоя зернового материала $Y_p=28$, 6 мм, расчет проведенный по предложенному методу определил, что габариты магнитопровода равны $0,633 \times 0,12 \times 0,36$ м, ширина полюса $a=0,082$ м, межполюсный шаг $s=0,273$ м, при этом количество витков обмотки равно $W=2792$, сила тока $I=3,17$ А, установленная мощность кВт.

4. Для определения основных динамических характеристик ферромагнитных тел в рабочей зоне электромагнита разработанная математическая модель их извлечения с поверхности транспортирующего устройства. Варьируя параметрами тел, среды и магнитного поля, и решая задачу многократно, определяются как конструктивные, так и электротехнологические параметры процесса и конструкции в целом, что позволяет определить оптимальные условия для проектирования в частности многополюсных электромагнитных сепараторов.

5. Результаты численного решения системы дифференциальных уравнений, позволили определить зависимость скорости U , траектории перемещения тела по вертикали y и горизонтали x в функции от времени t в магнитном поле рабочей зоны сепаратора при изменении различных параметров системы извлечения (размер тел $d=5 \dots 25$ мм, сила тока в обмотке сепаратора $I=10 \dots 30$ А и высота подвеса электромагнита над транспортной лентой $Y_p=58 \dots 77$ мм). При этом время извлечения t не превышает 0,15 с, максимальная скорость извлечения $U=2,8$ м/с, а перемещение тела по горизонтали x не превышает 30 мм, что позволяет определять размеры рабочей зоны.

6. Сформулированы рекомендации по использованию инженерного метода расчета (2.23–2.43) и математической модели динамики ФМТ в

поле (2.47 и 2.48) при разработке и проектировании электромагнитных устройств для извлечения ферромагнитных тел из зерновых материалов.

7. Инженерный метод расчета и математическая модель извлечения ферромагнитных тел из зерновых материалов рекомендуется для внедрения в учебный процесс по дисциплине „Электронагрев и электротехнология”.

РАЗДЕЛ 3

РАЗРАБОТКА И ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОЕ ИССЛЕДОВАНИЕ УСТРОЙСТВ ИЗВЛЕЧЕНИЯ ФЕРРОМАГНИТНЫХ ТЕЛ ИЗ ЗЕРНОВЫХ МАТЕРИАЛОВ

3.1. Анализ промышленных технологий и устройств извлечения ФМП из зерновых материалов

С целью получения более полной информации о технологиях и работе устройств - электромагнитных (магнитных) сепараторов и систем извлечения ФМП из зерновых материалов, нами были обследованы несколько сельскохозяйственных предприятий: комбинаты хлебопродуктов Запорожской и Херсонской областей по переработке зерна и маслоэкстракционный завод по переработке подсолнечника (ЗАО). Ниже приведены результаты обследования и их анализ.

3.1.1. Технологии извлечения ферромагнитных примесей из зерновых материалов на комбинате хлебопродуктов

На комбинатах хлебопродуктов технологическое оборудование линий (рис.3.1) переработки зерновых материалов – это бункеры, нории, зернодробилки и вертикальные трубопроводы для транспортирования сыпучих материалов и др.

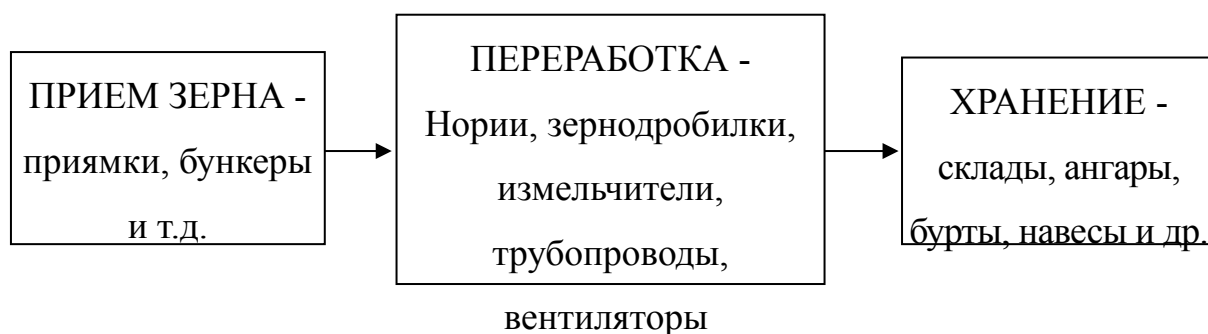


Рис. 3.1. Структурная схема переработки зерна на комбинате хлебопродуктов.

В линиях по переработке зерна на вертикальных трубопроводах установлены магнитные сепараторы типа МАП (рис. 3.2).

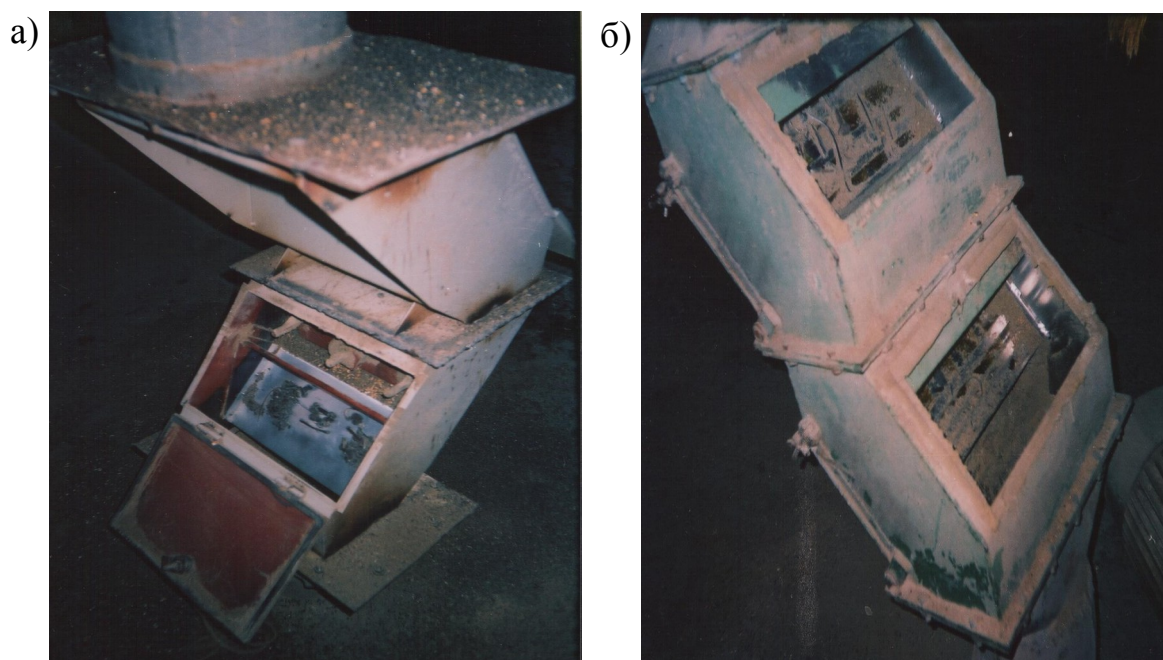


Рис. 3.2. Внешний вид магнитных сепараторов:

а) – каскадный зигзагообразный; б) – каскадный прямоточный;

Их конструкции и принцип действия следующие:

– конструкция – для создания магнитного поля применены постоянные магниты, которые установлены по поверхности снаружи или внутри немагнитных корпусов разной конфигурации (прямоугольных камер, цилиндров);

– принцип действия очевиден из приведенных фото и схем – поток зернового материала направляется в рабочие зоны с магнитным полем, в которых ФМП «прилипают» к внутренней (наружной) поверхности в местах расположения полюсов постоянных магнитов, установленных снаружи (внутри) немагнитного корпуса;

– недостатки – вторичный унос потоком зернового материала «уловленных» ФМП, снижение качества их извлечения из-за «шунтирования» полюсов (уменьшение рабочего магнитного потока) крупными телами.

Внешний вид ФМП, извлеченных магнитными сепараторами МАП из зерновых материалов, показан на рис.3.3.

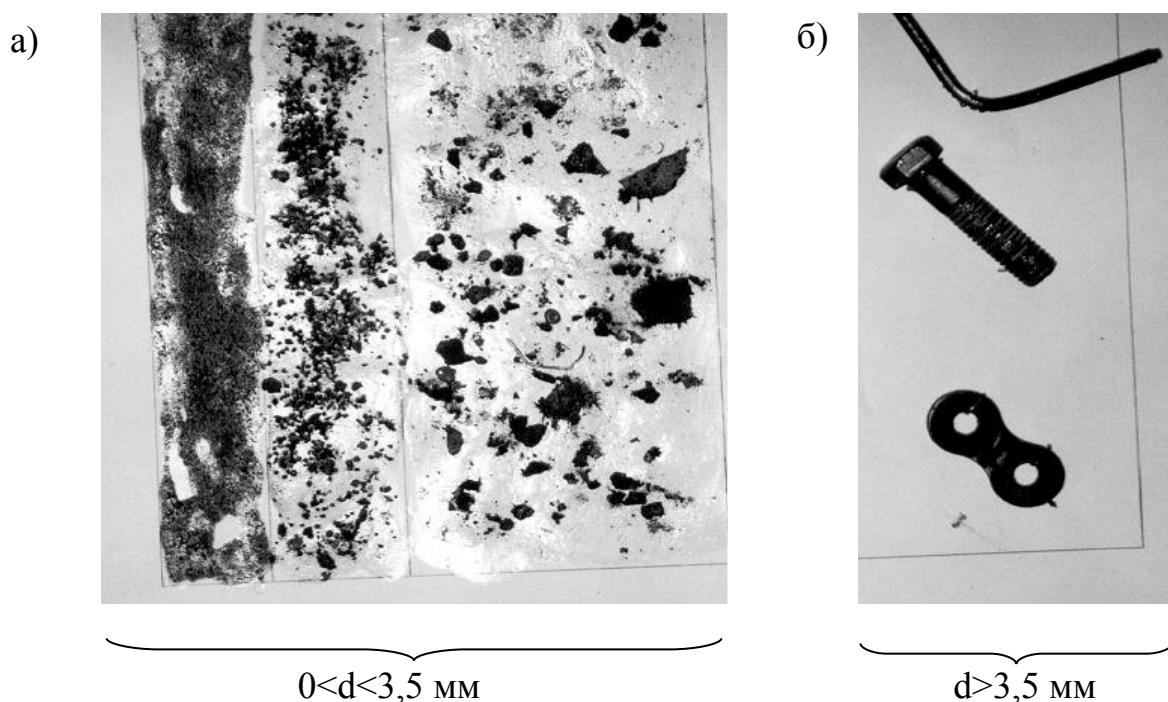


Рис. 3.3. Внешний вид ферромагнитных примесей в зерновых материалах линии приготовления комбикормов (а – ФМЧ, б – ФМТ).

Гранулометрический состав извлеченных ФМП, показан на рис.3.4. На графике показано содержание ФМП (фракционное, отнесенное к обще-

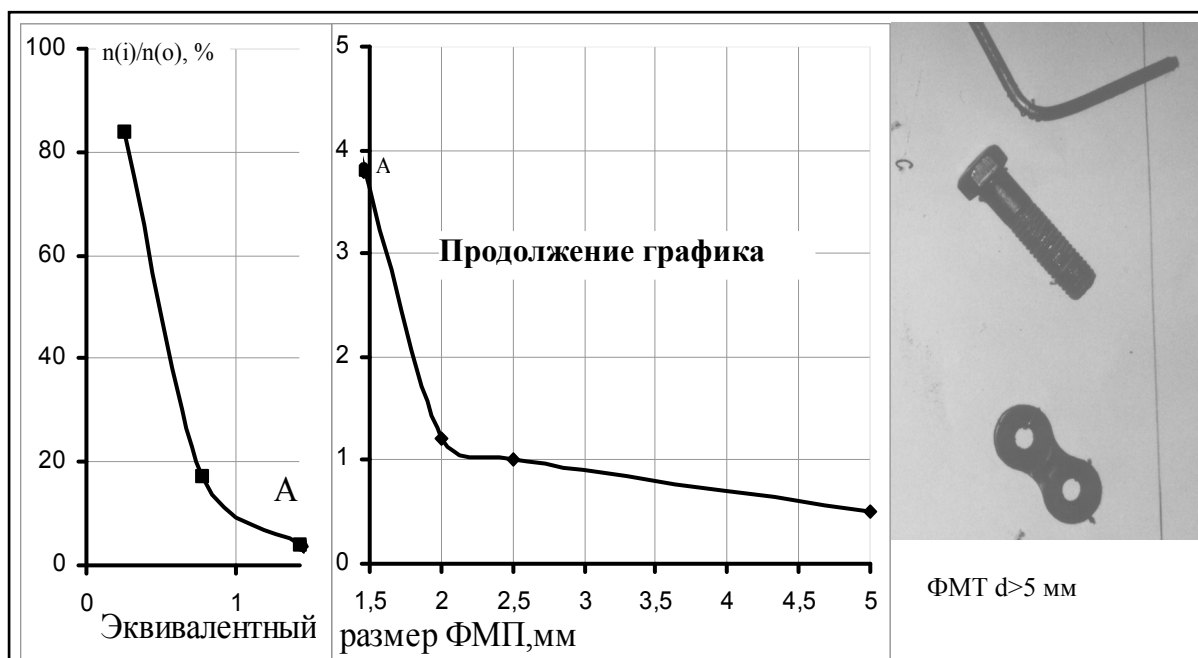


Рис.3.4. Гранулометрическая характеристика ФМП.

му количеству тел и частиц) в зависимости от крупности; видно, что крупные ФМТ значительных размеров, и они являются причиной вывода из строя технологического оборудования.

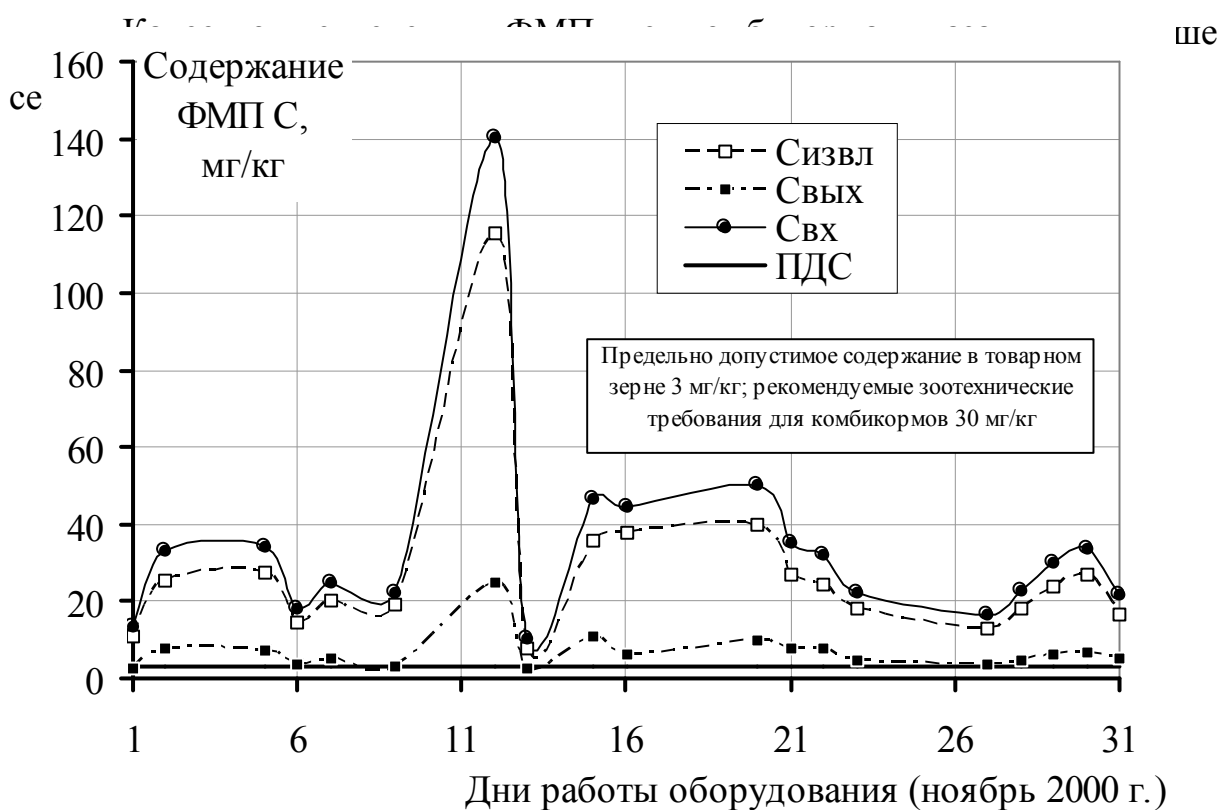


Рис. 3.5. Извлечение ФМП из зерновых материалов линии приготовления комбикорма (данные лаборатории предприятия).

Из приведенных данных, характеризующих технологию и технические средства извлечения ФМП, следует, что эта часть общей технологии переработки зерновых материалов требует совершенствования или замены.

3.1.2. Технология извлечения ферромагнитных примесей из подсолнечника на маслоэкстракционном заводе

Упрощенная структурная схема переработки подсолнечника содержит следующие основные операции: прием зерна в первичном отделении – транспортирование и подготовка к размолу (очистка от крупных примесей, ФМТ, лузги, легких фракций и др.) – плющение, обжаривание и отжим масла – очистка масла и его хранение (если не рассматривать дополнительную линию экстракции). Электромагнитный сепаратор типа ЭП – 1М установлен на участке подготовки – над ленточным транспортером. Внешний вид электромагнитного сепаратора, его схема и пр

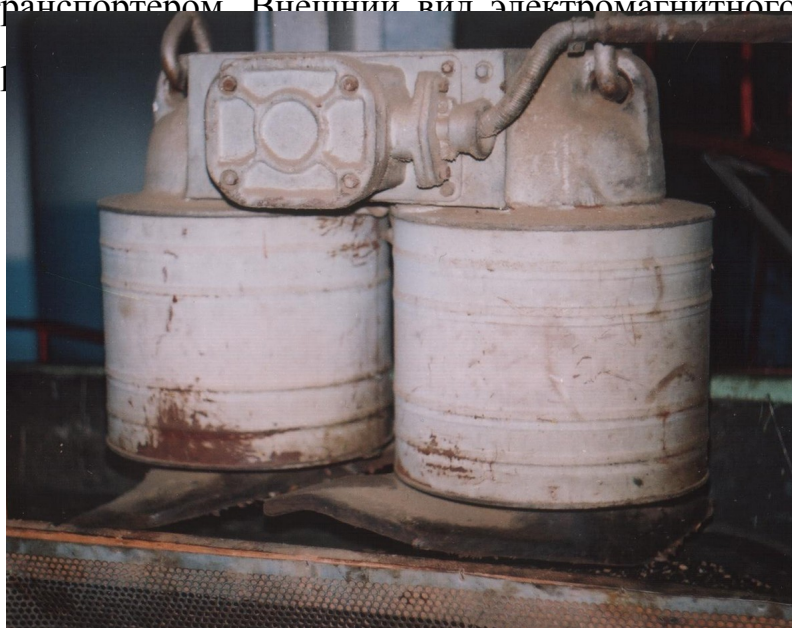


Рис.3.6. Общий вид электромагнитного сепаратора тип ЭП-1М.

Принцип его действия очевиден – магнитное поле создается „П-образной” электромагнитной системой открытого типа; поле охватывает часть транспортной ленты с зерном. ФМП извлекаются и „прилипают” к полюсам. Уборка уловленных ФМП – ручная. Электромагнитный сепаратор заимствован из горно-рудной отрасли (изготовитель Ворошиловский 3-д угольного машиностроения: напряженность поля на полюсе – 18600 ± 80 А/м). К недостаткам данного сепаратора следует отнести большие энергетические ($P=3,5$ кВт) и габаритно-массовые характеристики (габариты – $880 \times 450 \times 660$ мм, $m=1047$ кг). По сведению заводских работников, до установки сепаратора в линию из-за попадания крупных и средних ФМТ, производство останавливалось не реже 1 раза в месяц.

Внешний вид ФМП извлеченных из подсолнечника и их гранулометрическая характеристика показаны на рис. 3.7.

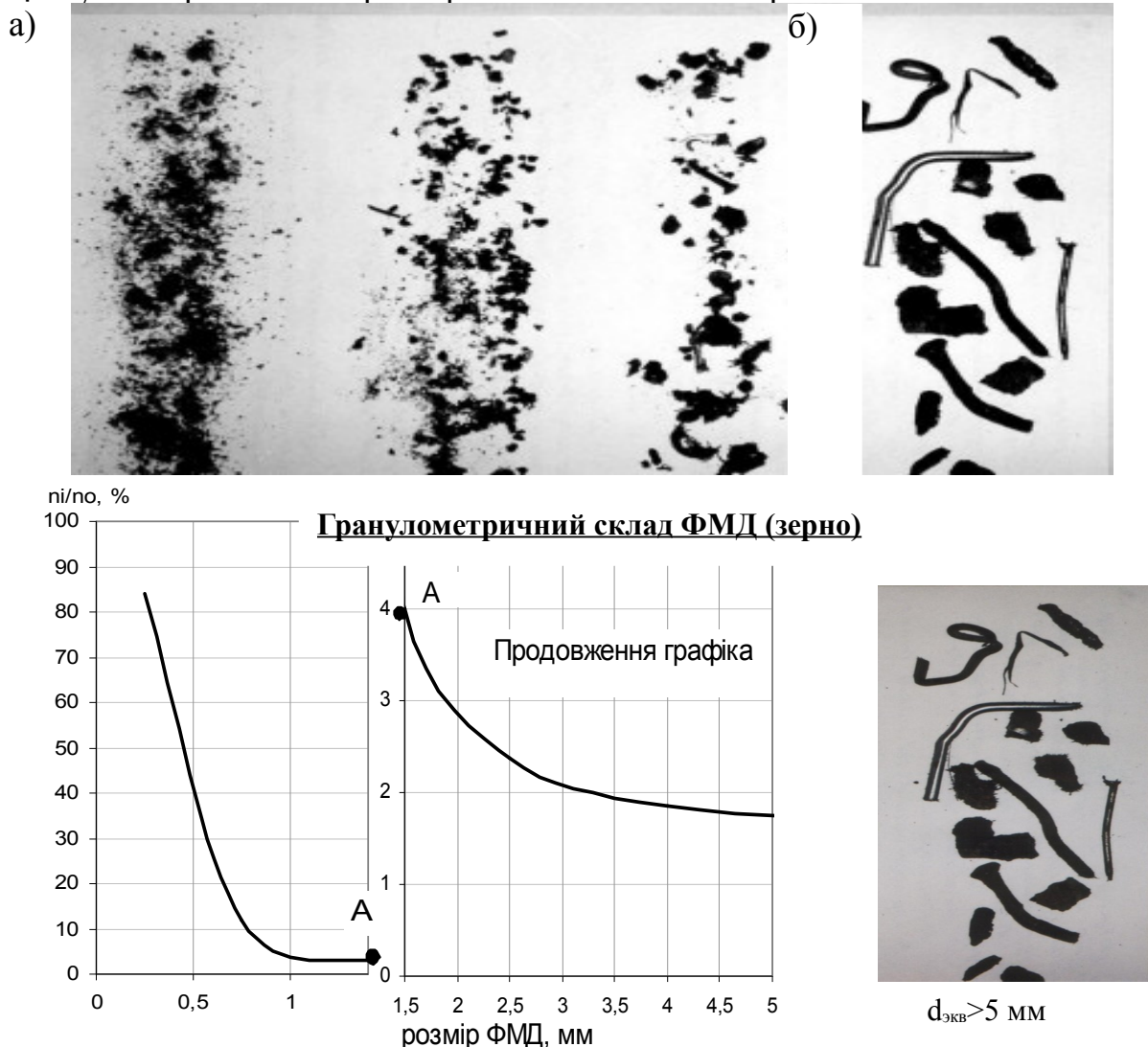


Рис. 3.7. Внешний вид и гранулометрическая характеристика ФМП

Обследование предприятий показало, что фактическое содержание ФМП в зерновых материалах превышает допустимое на $10\div 20\%$ и более, что согласуется и с литературными данными, например [12, 105].

Анализ ФМП, извлеченных из зерновых материалов позволяет сделать вывод, что основная масса – это тела определенных размеров (гайки, болты, фрагменты проволоки и т.д.); реже встречаются более крупные (корпусные осколки, технологические детали и т.д.) – они извлекаются ситами. Таким образом, весь диапазон гранулометрического состава ФМП может быть условно разделен на зоны, показанные на рис.3.8:

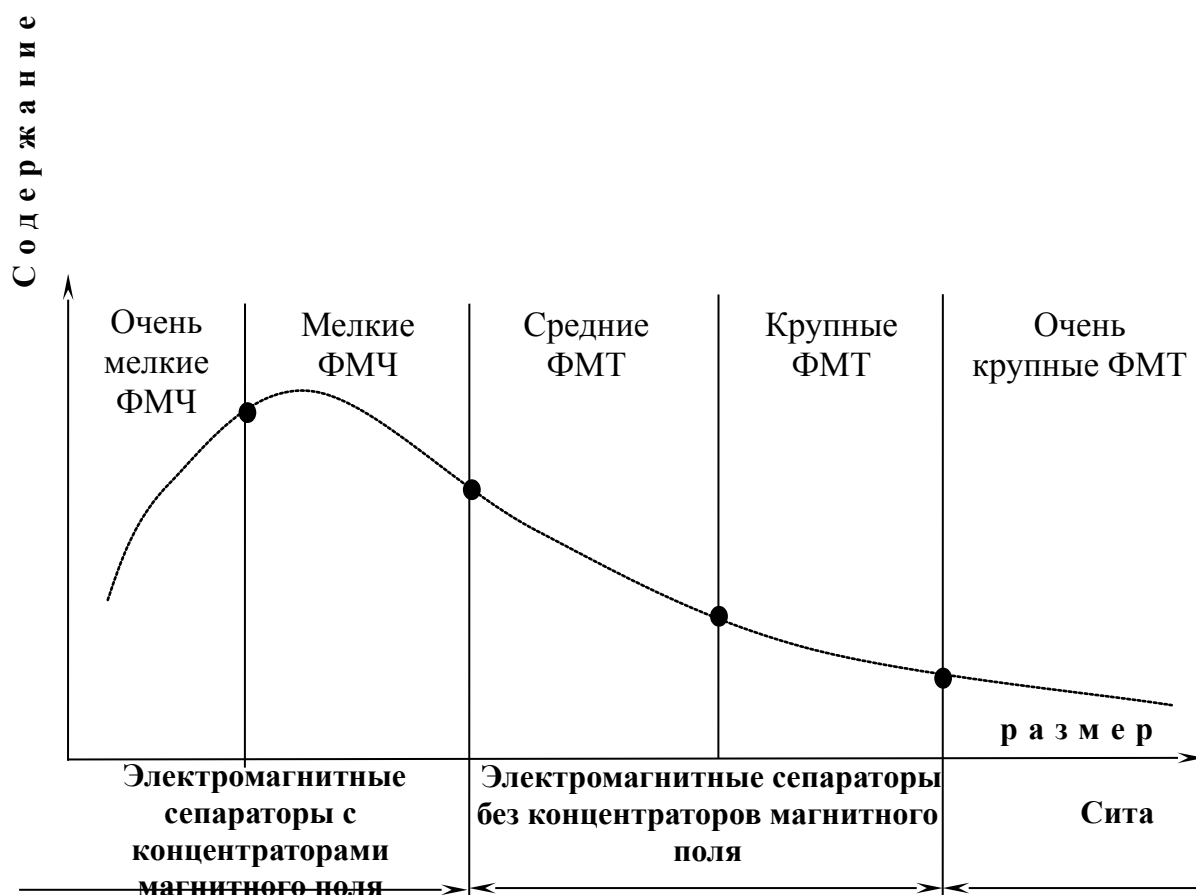


Рис.3.8. Гранулометрическая характеристика ФМП и устройства для их извлечения.

Согласно [13], основное количество ФМП в зерновых смесях (84%) имеют средний размер частиц 4,5 ... 4,7 мм. Наши исследования показали (ситовый анализ с четырех зерноперерабатывающих предприятий), что основное количество примесей лежит в диапазоне менее 1,5 мм, в то время как тела более 4 ... 5 мм, представляющие особую опасность для оборудования составляют от 3 до 5% (по счету или по массе).

Обобщая результаты проведенных обследований можно сделать главный вывод, что для извлечения ФМП необходимо разрабатывать электромагнитные устройства под определенный диапазон размера ферромагнитных тел и частиц.

Приведенные выше результаты обследования промышленных электромагнитных (магнитных) сепараторов, а также анализ патентных исследований [7, 16, 31, 47-51, 62, 63, 76, 80, 87, 109-118] позволили разработать принципиально новые энергоресурсосберегающие устройства для извлечения ферромагнитных тел из зерновых материалов, как по энергопотреблению, так и по затратам электротехнических материалов [59-61].

Лабораторные и опытно-промышленные модели этих устройств изготовлены, исследованы и рекомендованы к внедрению; они адаптированы к сельскохозяйственному производству, в частности для очистки зерна и подсолнечника от ФМТ.

3.2 Описание новых конструкций электромагнитных сепараторов

Ниже описаны разработанные электромагнитные сепараторы (копии патентов см. приложение А, Б, В), представлены результаты их лабораторных и опытно-промышленных исследований, а также сравнительный анализ на сходимость экспериментальных теоретических и расчетных зависимостей.

3.2.1 Виброэлектромагнитный сепаратор

Виброэлектромагнитный сепаратор [60] разработан на основе анализа известных конструкций [16, 31], в которых применена вибрация слоя сыпучих материалов только для транспортирования и подачи в рабочую зону.

Наиболее близким техническим решением, взятым за прототип, является вибромагнитный сепаратор [16], содержащий бункеры исходного материала и продуктов разделения, устройство транспортирования сыпучих, электромагнитную систему, вибраторы, обеспечивающие вибрацию сепарируемого материала с разной частотой под и между полюсами электромагнита. Однако это устройство имеет большую энергоемкость из-за наличия 3-х приводов - вибрототка и 2 секций, а также невозможность применения в технологии переработки зерновых материалов из-за отсутствия связи вибрототка с ленточным транспортером.

В разработанном устройстве (рис. 3.9) исключены недостатки прототипа и оно содержит: бункеры для исходного сырья и продуктов разделения; вибратор, обеспечивающий колебания ленты транспортера и

слой зернового материала, содержащего ФМТ; электромагнит с полюсами чередующейся полярности и системой очистки их от закрепленных на них износных ФМТ.

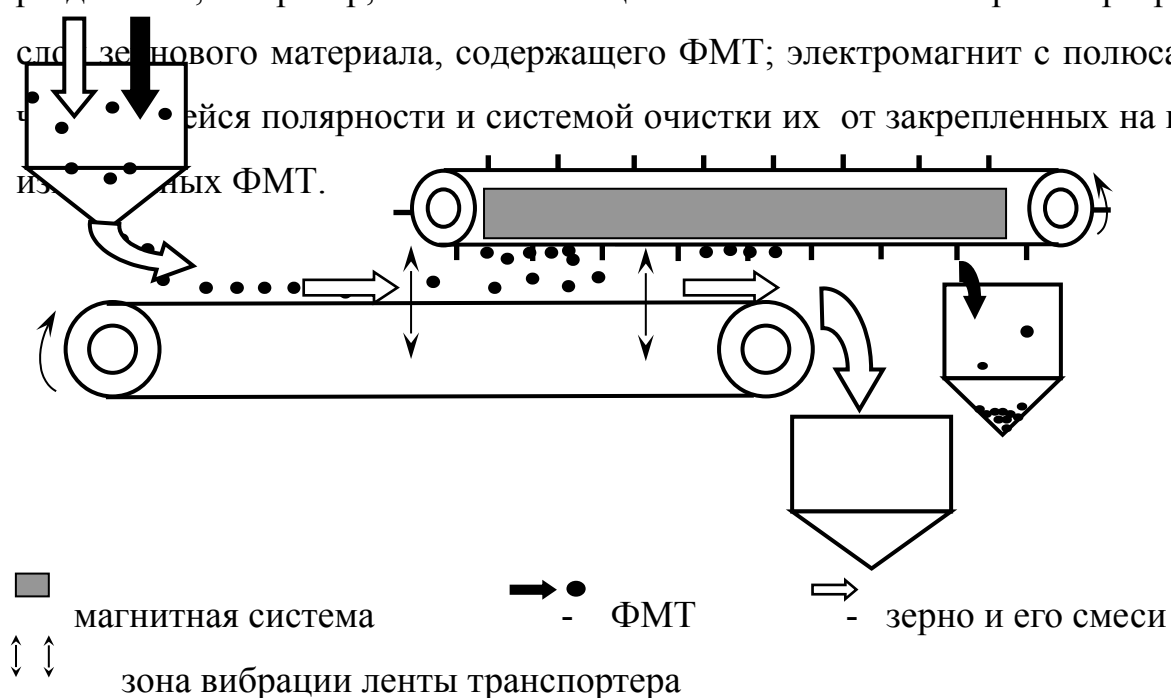


Рис. 3.9. Схема виброэлектромагнитного сепаратора извлечения ферромагнитных тел из зерновых материалов.

Главной отличительной особенностью данной конструкции, по сравнению с другими, является применение локальной вибрации участка транспортной ленты, находящейся в рабочей зоне электромагнитной системы с целью перевода слоя зернового материала в виброкипящее состояние и, следовательно: к значительному уменьшению величины силы сопротивления движению ФМТ и “всплыванию” их на поверхность слоя. Способы исполнения узла вибрации транспортной ленты с зерновым материалом разнообразны. Нами предложен следующий вариант: вибратор выполнен в виде роликов с сегментами, привод которых осуществляется от транспортной ленты. Сегменты на четных роликах расположены через треть окружности, а на нечетных – через четверть; согласно изобретению четные ролики установлены под полюсами электромагнитов, а нечетные – между ними. Сегменты выполнены радиусом, который равняется одной двенадцатой радиуса ролика транспортера. Это способствует вибрации (“кипению”) зернового материала в зоне действия магнитного поля (рис.3.10).

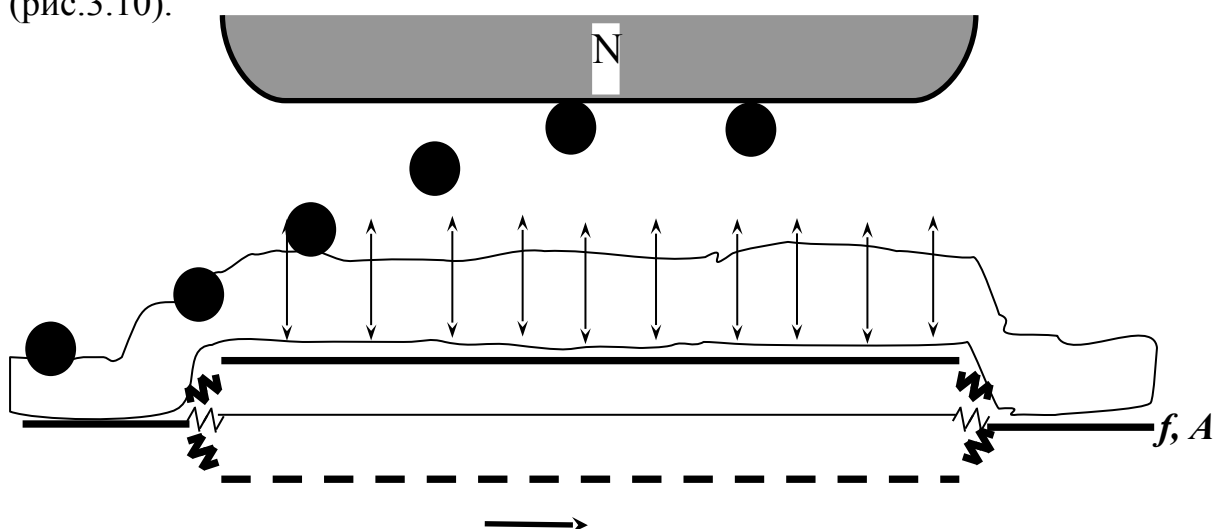


Рис. 3.10. Схема вибрации зерновых материалов в рабочей зоне сепаратора: f, A – частота и амплитуда вибрации

Устройство работает следующим образом: зерновой материал с ФМТ, из бункера высыпается на транспортер, перемещаясь вместе с лентой, достигает блока роликов, создающих ее вибрацию а, следовательно, и “кипение” зернового материала. При таком его состоянии уменьшаются силы сопротивления движению ФМТ и они “всплывают” на поверхность слоя. Под действием сил поля ФМТ притягиваются к полюсам электромагнитов сепаратора, который “охвачен” непрерывной лентой уборочного транспортера, и, перемещаясь в направлении движения зернового материала, сбрасывает их в бункер-накопитель.

3.2.2. Электромагнитный сепаратор

Известные конструкции электромагнитных сепараторов для извлечения ФМТ из сыпучих материалов содержат систему электромагнитов, установленных в разных зонах транспортируемого материала [111]. Их недостатками являются значительные капитальные и эксплуатационные затраты из-за большой металло - и энергоемкости.

Наиболее близким техническим решением, выбранным за прототип, является электромагнитный сепаратор, содержащий электромагнитную систему, состоящую из магнитопровода выполненного из Ш - образных пластин электротехнической стали и обмотки, питаемой постоянным током [30]. Это устройство имеет те же недостатки, что и большинство сепараторов - большую металлоемкость и значительное потребление электроэнергии.

В основу задачи усовершенствования электромагнитных сепараторов, заложены следующие принципы:

- индукция в магнитопроводе должна быть не выше значения индукции насыщения, так как работа электромагнита за пределами индукции насыщения ведет к потере электрической энергии,
- ширина магнитопровода сепаратора должна быть больше или равна ширины слоя зернового материала и меньше или равна ширины ленты транспортера.

Поставленные условия выполняются, чаще всего путем применения полюсных наконечников. Однако при этом, уменьшаются силы магнитного поля, действующие на ФМТ, что ведет к снижению качества их извлечения.

Нами предложен способ шихтовки магнитопровода, заключающийся в том, что он собирается из чередующихся пластин, электротехнической стали и немагнитного материала, причем внешние пластины устанавливаются только стальными.

Использование электромагнитного сепаратора такой конструкции позволит снизить потребление: до 30 % электротехнической стали и электрической энергии с одновременным увеличением качества сепарации зернового материала.

Рис. 3.11 изображена схема извлечения ФМТ из зерновых материалов. Она практически не отличается от рассмотренной ранее (рис. 3.9). Отличительной особенностью является применение шихтованного электромагнитного сепаратора новой конструкции с шихтованным магнитопроводом, описанным выше.

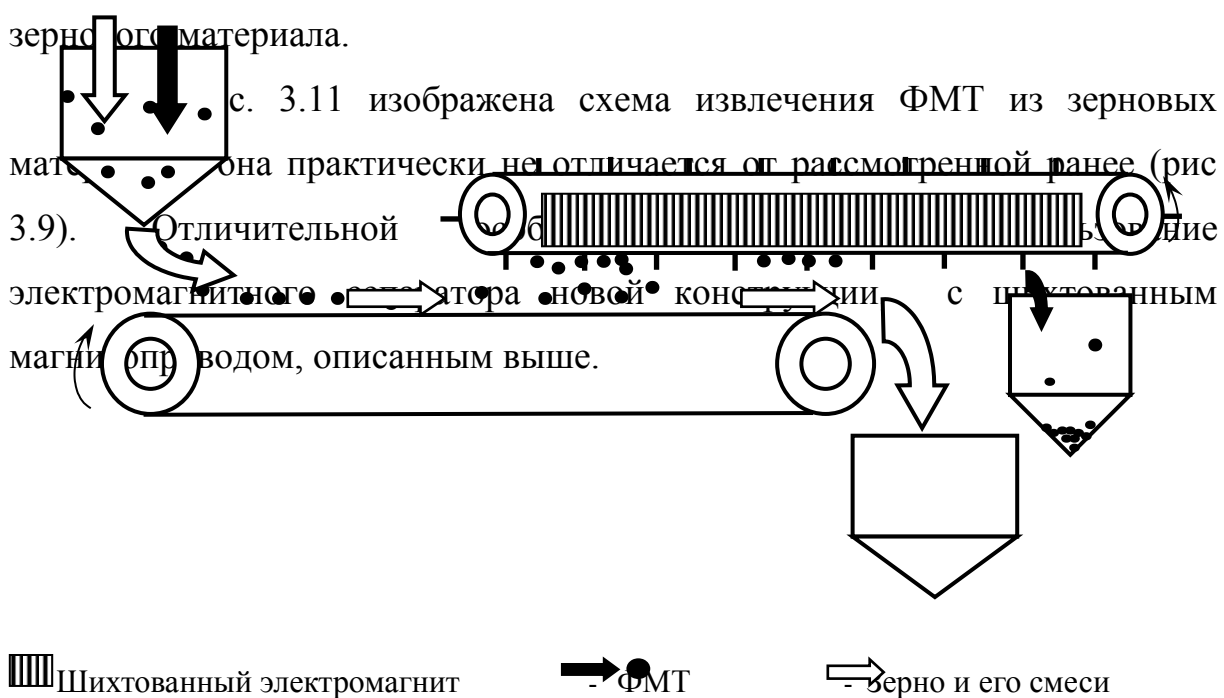


Рис. 3.11. Схема извлечения ферромагнитных тел из зерновых материалов шихтованным электромагнитным сепаратором.

На рис. 3.12 изображена схема электромагнитного сепаратора [57], состоящего из магнитопровода (1), собранного из пластин электротехнической стали (2), с чередующимися пластинами из немагнитного материала (3), причем внешние пластины устанавливаются только стальными (4), и секционной обмотки (5), питаемой постоянным или переменным током. Сепаратор работает следующим образом: при наличии тока в обмотке в рабочей зоне создается поле; под действием магнитных сил происходит извлечение из зернового материала ФМТ, которые закрепляются на полюсах магнитопровода. При накоплении, ФМТ удаляются ручным способом

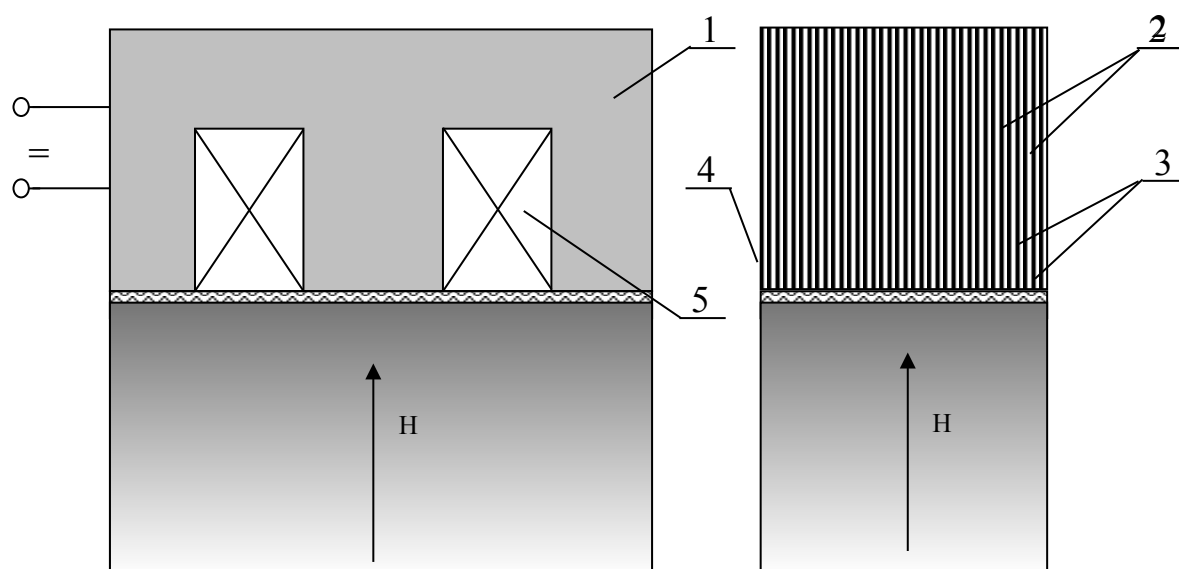


Рис. 3.12. Схема шихтовки магнитопровода сепаратора: 1 – магнитопровод; 2 – пластины электротехнической стали; 3 – пластины из немагнитного материала; 4 – стальные пластины; 5 – секционная обмотка.

или путем обесточивания обмотки электромагнита. Рекомендуется для удаления ФМТ применять систему, приведенную на рис. 3.11.

3.2.3. Электромагнитный сепаратор

Известный электромагнитный сепаратор содержит корпус, источник поля, диски, расположенные на валу, горловины - приемную и выхода очищенного продукта [105]. Недостатком данной конструкции является сложность очистки улавливающих поверхностей от ФМТ и как следствие незапланированные остановки технологической линии.

Наиболее близким техническим решением, выбранным в качестве прототипа, является электромагнитный сепаратор, содержащий рабочий орган - вал с дисками, как источник магнитного поля, горловин исходного сырья и продукта, разделителя и скребков для очистки дисков от ФМТ [110].

В основу изобретения положена задача эффективной очистки улавливающих поверхностей от ФМТ в электромагнитных сепараторах.

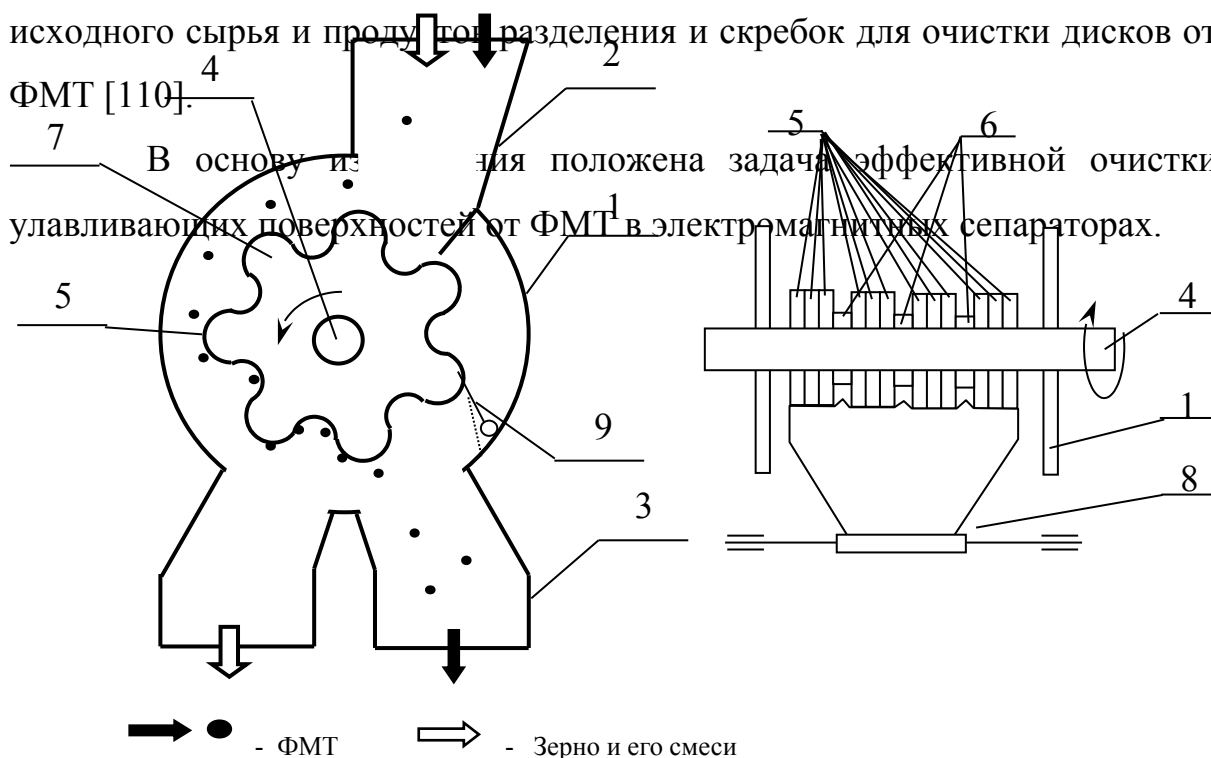


Рис. 3.13. Электромагнитный сепаратор с эффективной системой регенерации улавливающих поверхностей: 1 – корпус; 2,3 – горловины; 4 – вал; 5 – диски; 6 – обмотка; 7 – зубья; 8 – скребок; 9 – пружина.

Электромагнитный сепаратор [59], содержит корпус с горловинами исходного сырья и продуктов разделения, в котором закреплен вал с источником магнитного поля, выполненного в виде секционных чередующихся ферромагнитных дисков и обмоток. Диски выполнены в виде “звездочки” с зубьями со скошенными углами, а обмотки имеют наружный диаметр, равный диаметру впадин зубьев; для очистки дисков от уловленных ФМТ установлен также скребок.

На рис. 3.13 изображены: источник поля электромагнитного сепаратора (а), схема извлечения ФМТ из зерновых материалов (б), и конструкция скребка для очистки дисков от уловленных ФМТ (в). Работа электромагнитного сепаратора очевидна из рисунка и не требует особых пояснений.

Описанные выше конструкции электромагнитных сепараторов поэлементно и в целом изучались экспериментально; ниже приведены результаты исследований, отражающие режимы и эффективность их работы по извлечению ФМТ из зерновых материалов.

3.3. Экспериментальное исследование электромагнитных сепараторов

Разработанные электромагнитные сепараторы по извлечению ферромагнитных тел из зерновых материалов магнитным полем (3.1.1, 3.1.2) и методы их расчета (2.22 - 2.33) качественно (раскрытие механизма извлечения) и количественно (определение числовых значений электротехнологических параметров устройств) проверялись на специально разработанных экспериментальных установках.

Изучалось взаимодействие ФМТ с магнитным полем, а именно: скорость и время извлечения одиночных тел различной формы (шары, болты, гайки, шайбы и др.) при изменении силы тока I в обмотке и расстояния Y_p , с которого они притягивались к полюсам электромагнита. Эти электротехнологические параметры I и Y_p являются **определяющими** и связующими между другими технологическими (подача материала, ширина ленты и слоя) и электротехническими (габариты магнитопровода, обмотки и др.).

Изучение процесса извлечения ФМТ из зерновых материалов осуществлялось известными различными способами: наблюдением, фотосъемкой, регистрацией перемещения тел электротехническими и механическими приборами и др. [83, 103, 104]

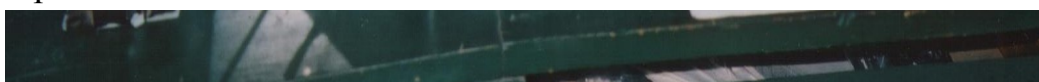
Основными требованиями к экспериментам были: минимальные материальные затраты и максимальная достоверность полученных результатов. Экспериментальные данные анализировались при помощи ПЭВМ известными методами обработки статистических данных (EXCEL, MATHCAD и др.).

3.3.1. Исследование извлечения ферромагнитных тел из неподвижного и виброкипящего слоя зерновых материалов

Извлечение ФМТ из неподвижного слоя зерновых материалов осуществлялось с помощью электромагнитного сепаратора, внешний вид которого показан на рис. 3.14, схема электрическая принципиальная на рис. 3.15, с параметрами, приведенными в табл. 3.1 и основными геометрическими размерами (рис. 3.16).



Рис. 3.14. Схема экспериментального электромагнитного сепаратора



Цель эксперимента - определение силы тока I в обмотке и времени при “подъеме” ФМТ различной массы и формы с поверхности неподвижного слоя зерна в зависимости от расстояния Y_P при условии равенства сил тяжести и магнитной $F_T = F_M$ (см. разд. 2.2, рис. 2.2, формула 2.21).

Методика эксперимента. Сила тока в обмотке I (А), расстояние Y_P (мм) между плоскостью с телом и полюсом электромагнита и время t (с) – одни из определяющих электротехнологических параметров, от которых зависят энергетические и ресурсные показатели сепараторов или систем

Таблица 3.1.

Параметры экспериментального электромагнитного сепаратора

Название параметра	Обозн.	Ед. изм.	Величина	Ист. информ.
<i>Электромагнитный сепаратор</i>				
1.Длина магнитопровода	<i>l</i>	мм	212	Согласно конструкции пластин электротехни ческой стали
2.Ширина магнитопровода	<i>d</i>	мм	83	
3.Высота магнитопровода	<i>h</i>	мм	158	
4.Ширина полюса	<i>a</i>	мм	60	
5.Высота окна для обмотки	<i>hl</i>	мм	128	
6.Ширина окна для обмотки	<i>b</i>	мм	37	
<i>Обмотка</i>				
7. Размер обмоточного провода	<i>d</i>	мм	3	Выбирается
8. Плотность тока в обмотке	<i>J</i>	$\frac{\text{А}}{\text{мм}^2}$	2,5	Рекомендуется из условий охлаждения
9. Коэффициент заполнения	<i>κ_з</i>	о.е.	0,45	Принимается
10. Удельное сопротивление обмоточного провода (медь)	<i>ρ_м</i>	Ом·м	0,0175	Справочный параметр
11. Магнитная постоянная	<i>μ₀</i>	Гн/м	4π·10 ⁻⁷	Const

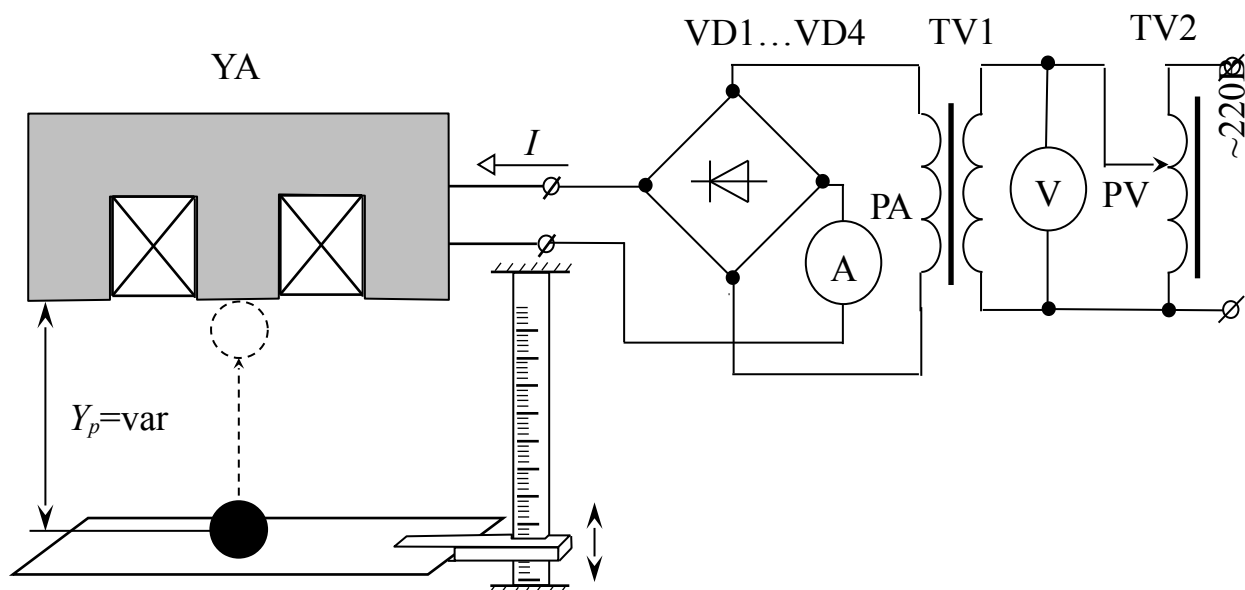


Рис. 3.15. Схема экспериментального электромагнитного сепаратора

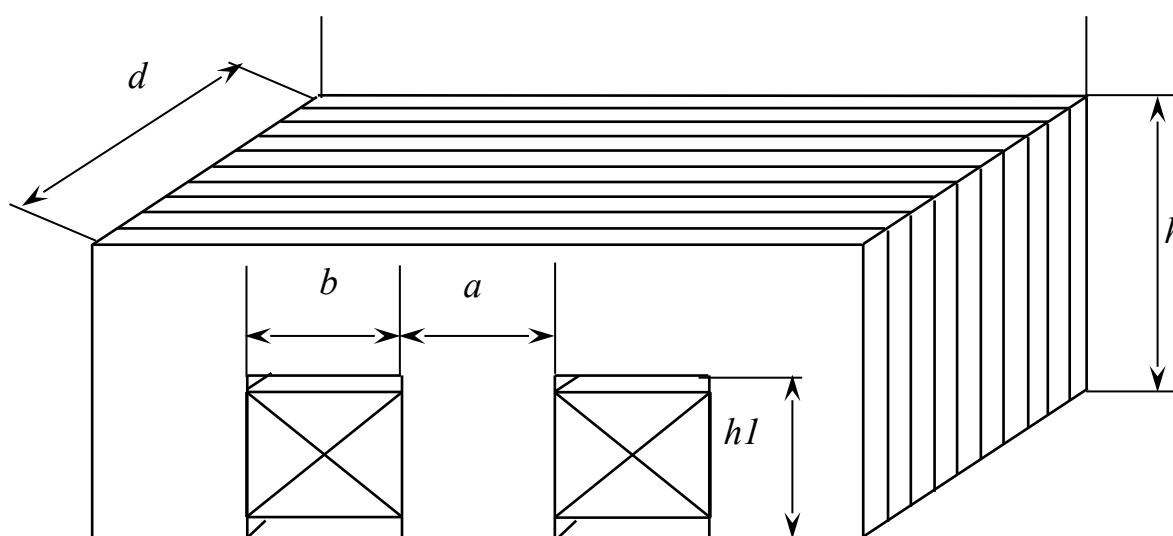


Рис. 3.16. Основные геометрические размеры электромагнитного сепаратора.

извлечения ФМТ из зернового материала. Эти показатели с особой тщательностью фиксировались следующим образом: расстояние между плоскостью с ФМТ и полюсом электромагнита мерной линейкой, время - электромеханическим секундомером, включенным в специально разработанную схему (рис.3.17), а сила тока и напряжение соответствующими измерительными приборами (таблица 3.2).

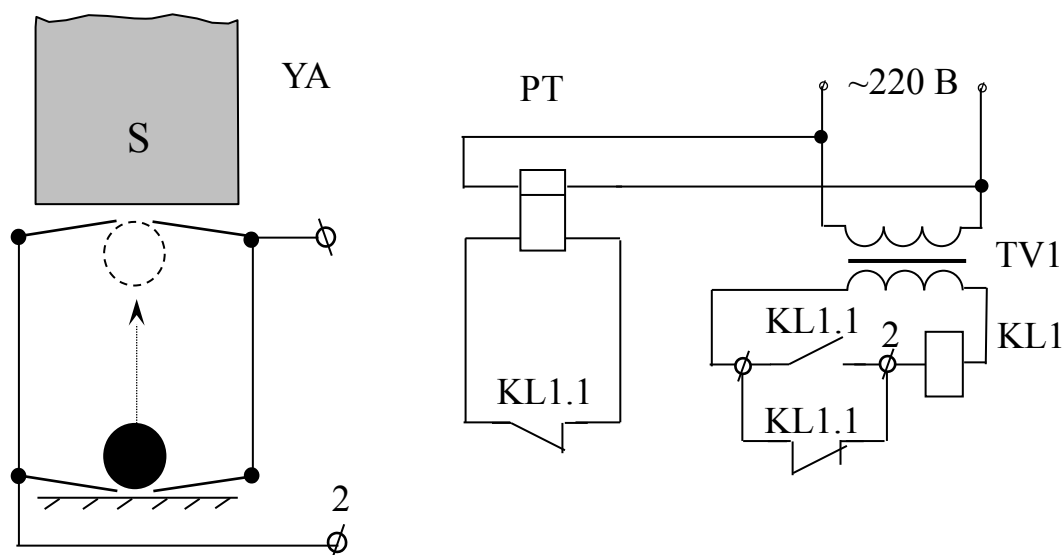


Рис. 3.17. Схема измерения времени извлечения ферромагнитных тел.

Алгоритм эксперимента: устанавливалась определенной величины сила тока в обмотке сепаратора, включалась схема фиксации времени (рис. 3.17); по вертикали перемещался рабочий стол с ФМТ до тех пор, пока не замыкались контакты, управляющие электромеханическим секундомером. Регистровались расстояние Y_p и время t .

Таблица 3.2.

Перечень оборудования экспериментального стенда.

Оборудование	Обознач.	Тип	Кол-во	Примечание
1. Регулировочный трансформатор	TV2	ЛАТР – 127/220	1	0...220, $I_{max}=1,5$ А
2. Понижающий трансформатор	TV1	ОСОТ 220/36	1	$U_{напр}=36$ В
3. Вольтметр	PV	Э30	1	ГОСТ 8711-60
4. Амперметр	PA	Э421	1	ГОСТ 8711-60
5. Диоды	VD1... VD4	Д245Б	4	
6. Электромагнит	YA	Нестандартный	1	$W=360$

7. Секундомер	PT	ПВ-53л	1	
8. Реле	KL	РП-20	1	$U_{обмотки}=24В$

Результаты эксперимента в виде обобщенных таблиц помещены в приложение Г, графические зависимости показаны на рис. 3.18 – 3.21, а их анализ приведен ниже.

“Подъем” сферических тел различной массы с поверхности неподвижного слоя показан в виде графической зависимости $I = f(d, m, Y_p)$ на рис. 3.18, из которой следует, что:

- вид зависимости экспоненциальный;
- сила тока I в обмотке зависит только от расстояния Y_p (положения

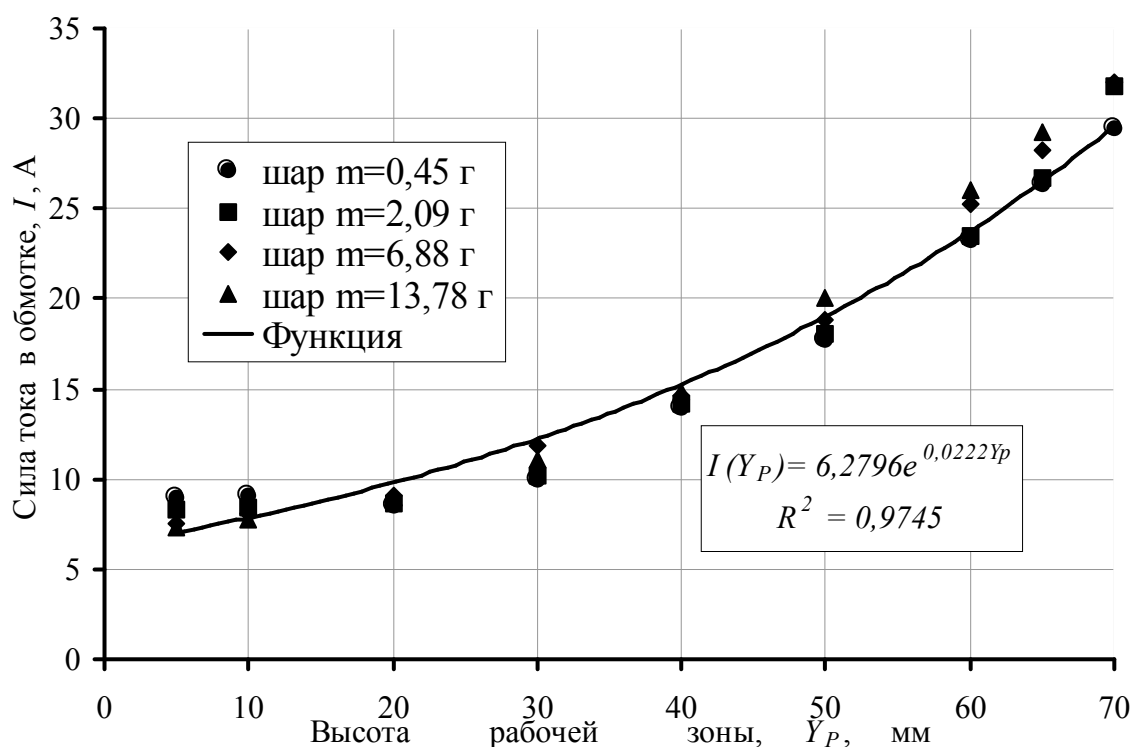


Рис. 3.18. Зависимость силы тока в обмотке сепаратора от положения тела по высоте рабочей зоны: .

тела по вертикали);

- установлено, что при увеличении расстояния от полюса до тела в 7 раз, сила тока в обмотке увеличивается в 5 раз;
- сила тока в обмотке I не зависит от диаметра d и массы m тела;

- сила тока в обмотке I в зависимости от расстояния от полюса до тела Y_P описывается закономерностью вида:

$$I(Y_P) = A \cdot e^{B \cdot Y_P} = 6,279 \cdot e^{0,022 \cdot Y_P}, \quad (3.1)$$

- сходимость экспериментальных данных с закономерностью (3.1) составляет $>97\%$ (среднеквадратичное отклонение $R^2=0,9745$).

“Подъем” тел неправильной формы (болты) различной массы с поверхности неподвижного слоя в виде графической зависимости $I = f(m, Y_P)$ показан на рис. 3.19, из которой следует, что:

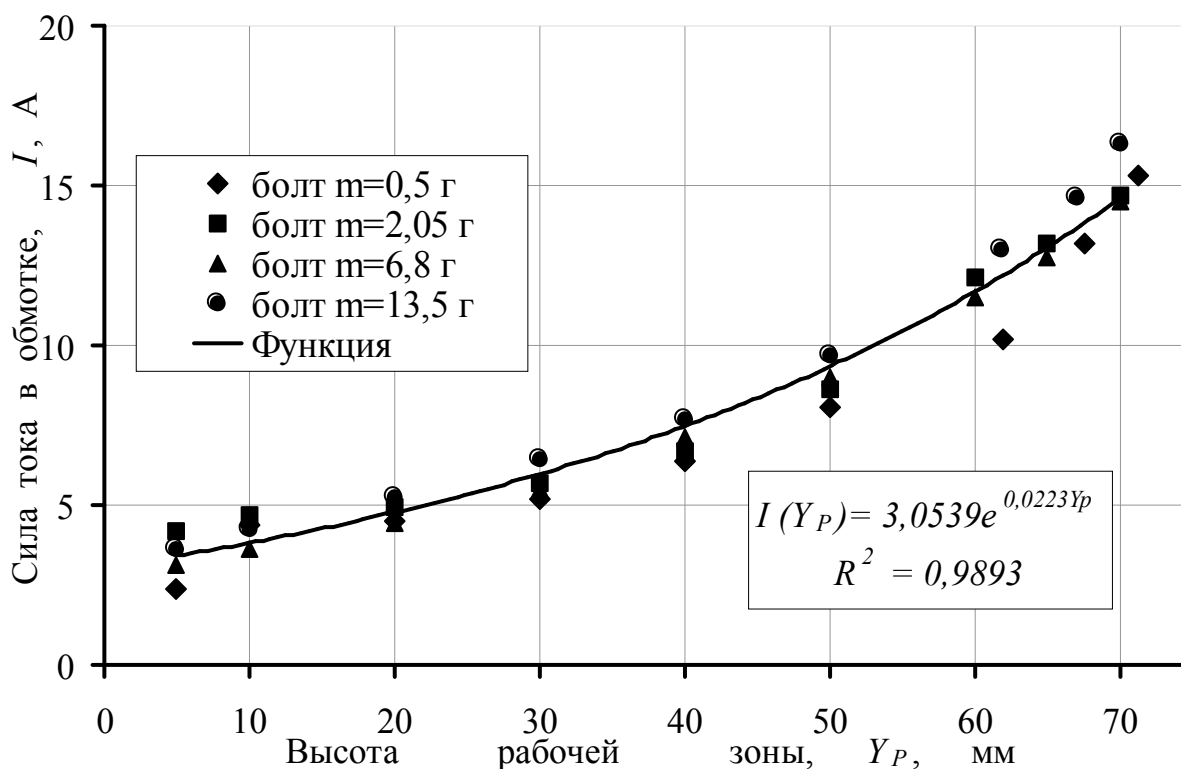


Рис. 3.19. Зависимость силы тока в обмотке сепаратора от положения тела по высоте рабочей зоны: .

- вид зависимости экспоненциальный;
- сила тока в обмотке зависит от расстояния Y_P положения тела;
- установлено, что при увеличении расстояния положения тела в 7 раз сила тока в обмотке увеличивается в 4 раза;
- сила тока I в обмотке не зависит от размера и массы тела;

- сила тока I в обмотке зависит от расстояния Y_p положения тела и описывается закономерностью вида:

$$I(Y_p) = A \cdot e^{B \cdot Y_p} = 3,0539 \cdot e^{0,0223 \cdot Y_p}, \quad (3.2)$$

- сходимость экспериментальных данных с закономерностью (3.2) составляет >98% (среднеквадратичное отклонение $R^2=0,9893$).

Определение средней скорости извлечения ФМТ осуществлялось путем фиксации времени (рис. 3.17) и расстояния положения тел по вертикали (табл. 3.3).

Таблица 3.3.

Средние скорости движения ФМТ к полюсам сепаратора.

	m=0,45 г			m=2,09 г			m=6,88 г			m=13,78 г			
Y_p , м	I, А	t, с	u, м/с	I, А	t, с	u, м/с	I, А	t, с	u, м/с	I, А	t, с	u, м/с	u(ср), м/с
0,005	8,3	—	—	7,5	—	—	7,3	0,19	0,026	6,7	0,11	0,045	0,038
0,01	8,4	—	—	8,05	—	—	8,2	0,225	0,044	8	0,18	0,054	0,062
0,02	8,6	—	—	10,2	0,2	0,1	10,4	0,23	0,086	9,85	0,13	0,153	0,117
0,03	10,2	—	—	11,8	0,235	0,127	11,9	0,23	0,13	11,9	0,21	0,142	0,147
0,04	14,2	0,215	0,186	14,6	0,215	0,186	14,8	0,21	0,19	14,2	0,3	0,133	0,179
0,05	18	0,15	0,333	18,8	0,215	0,232	20	0,25	0,2	18,4	0,27	0,188	0,246
0,06	23,5	0,15	0,4	25,2	0,24	0,25	26	0,215	0,279	28,7	0,21	0,285	0,283
0,065	26,8	0,15	0,433	28,2	0,305	0,213	31	0,32	0,203	32,6	0,23	0,288	0,284
0,07	31,8	0,19	0,368	32	0,34	0,205	—	—	—	—	—	—	0,287

Вычисленные значения средней скорости $u_{cp} = \frac{Y_P}{t}$ извлечения ФМТ для сферических тел различной массы показаны на рис. 3.20 из кото-

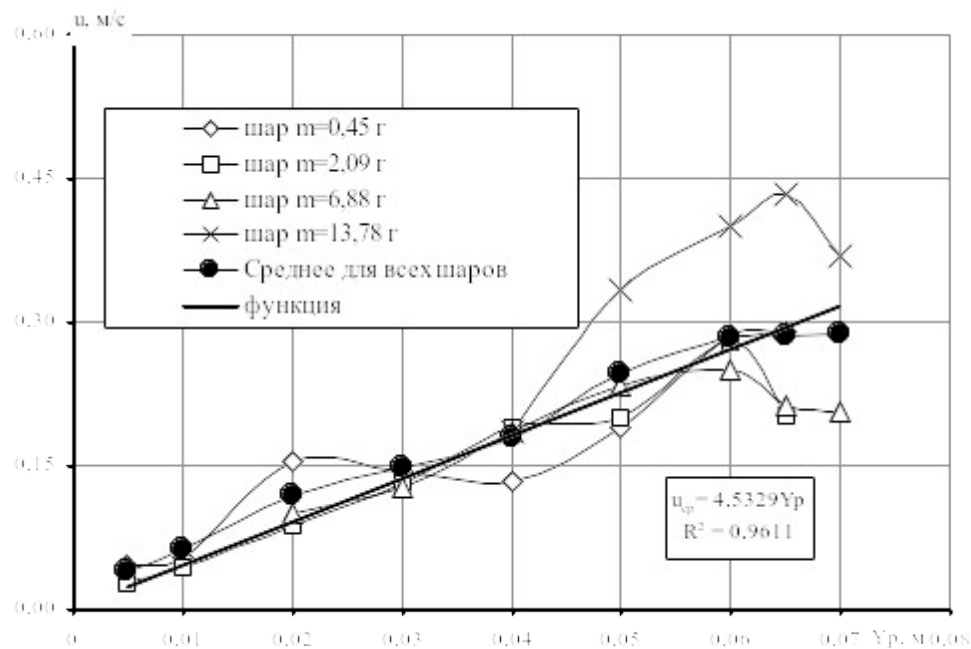


Рис. 3.20. Зависимость средней скорости движения ФМТ по высоте рабочей зоны следует, что скорость описывается зависимостью, близкой к линейной:

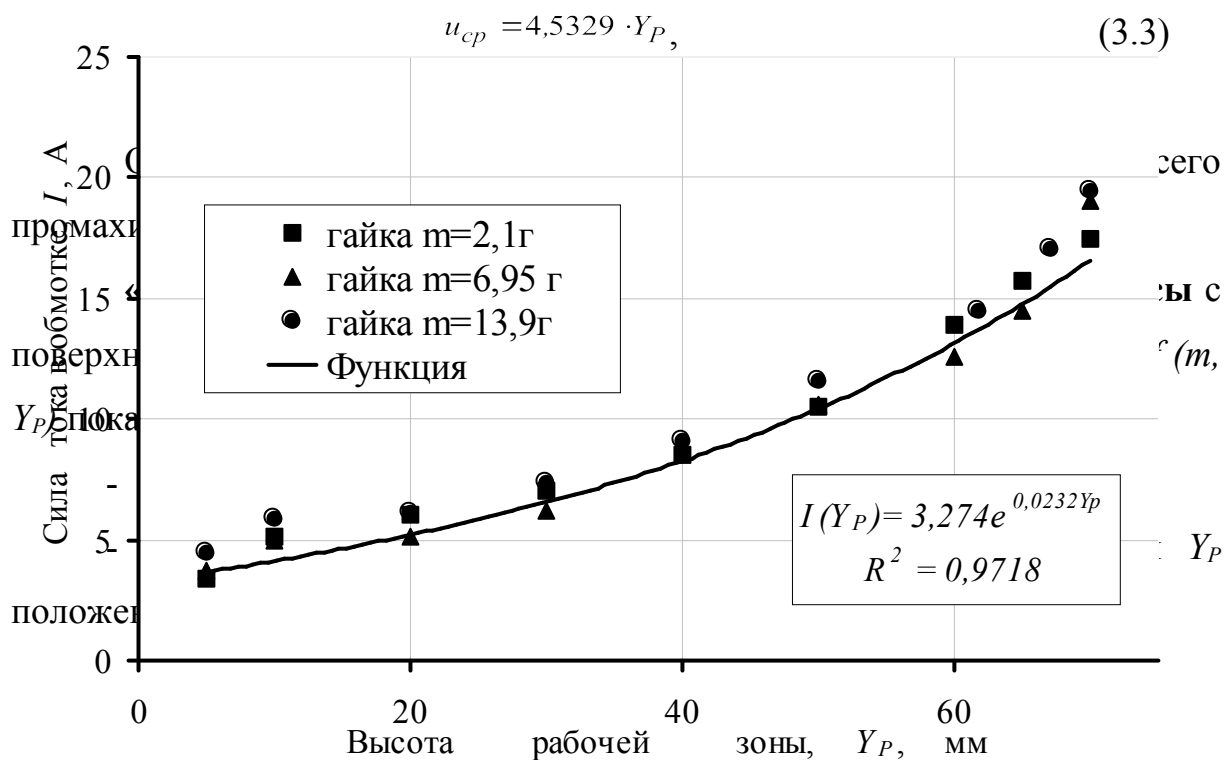


Рис. 3.21. Зависимость силы тока в обмотке сепаратора от положения тела по высоте рабочей зоны:

- установлено, что при увеличении расстояния положения тела в 7 раз сила тока в обмотке увеличивается в 4 раза;
- сила тока I в обмотке не зависит от размера и массы тела;
- сила тока I в обмотке в зависимости от расстояния Y_P положения тела описывается закономерностью вида:

$$I(Y_P) = A \cdot e^{B Y_P} = 3,274 \cdot e^{0,0232 Y_P} \quad (3.4)$$

сходимость экспериментальных данных с закономерностью (3.4) >97% (среднеквадратичное отклонение $R^2=0,9718$).

Обобщенный анализ экспериментальных данных по различным ферромагнитным телам позволил получить эмпирические формулы для определения силы тока I в обмотке в зависимости от расстояния Y_P положения тела (для шара - рис. 3.18, болтов - рис. 3.19, гаек - рис. 3.21,) имеющие общий вид:

$$I(Y_P) = A \cdot e^{B Y_P}, \quad (3.5)$$

где A - предэкспоненциальный множитель, ($A_{\text{шара}}=6,279$, $A_{\text{болта}}=3,0539$, $A_{\text{гайки}}=3,274$);

B - показатель степени, ($B_{\text{шара}}=0,0222$, $B_{\text{болта}}=0,0223$, $B_{\text{гайки}}=0,0232$).

Эта формула связывает основополагающие электротехнологические параметры: электротехнический (I – силу тока в обмотке электромагнитного сепаратора) и технологический (Y_p – высоту слоя зерновых материалов на транспортной ленте).

Анализ формулы (2.21) позволяет сделать выводы о сходимости с (3.5) и возможности их аналитического сопоставления.

Средняя силовая линия в воздушном зазоре описывается двумя уравнениями:

$$\left. \begin{aligned} L &= s \cdot \psi \\ L &= s + a \end{aligned} \right\} \quad (3.6)$$

Решая (3.6) относительно ψ :

$$\psi = 1 + \frac{a}{s} \quad (3.7)$$

$$\psi = 1.619.$$

Наиболее сложными факторами в определении численных значений магнитных параметров ферромагнитных тел, входящих в инженерный расчет являются:

- магнитная восприимчивость вещества χ_B ;
- магнитная восприимчивость тела χ_T ;
- геометрический фактор формы φ ;
- размагничивающий фактор тела N ;
- удельная магнитная восприимчивость $\chi_{\gamma\delta}$ как правило определяется экспериментально.

Взаимосвязь этих параметров очень сложна и мало изучена [25, 66, 95, 107].

В литературе встречаются следующие зависимости [25, 39]:

$$- \quad \chi_{\gamma\delta} = \frac{\chi_B}{\rho_2}, \quad (3.7)$$

$$- \quad N = f(\text{геометрических размеров});$$

$$- \quad \varphi = \text{приведение тела любой формы к сфере с } d_{\text{экв}};$$

$$- \quad \chi_T = \frac{\chi_B}{1 + N \cdot \chi_B} \quad (3.8)$$

где N - фактор формы.

Учитывая изложенное нами, сделана попытка определить количественные характеристики вышеизложенных параметров из экспериментальных исследований электромагнитного сепаратора (см. п. 3.3.1) согласно определяющей зависимости (2.21).

Для нахождения $\chi_{y\partial}$ сопоставляем основания экспоненциальных зависимостей формул (2.21) и (3.5) и выражаем $\chi_{\text{в}}$:

$$\chi_{\text{в}} = \frac{s^3 \cdot g \cdot \rho_2 \cdot \psi^3}{\pi \cdot \mu_0 \cdot A^2 \cdot W^2}, \quad (3.9)$$

По формуле (3.7) определяем $\chi_{y\partial}$: шар - $\chi_{y\partial} = 8,75 \cdot 10^{-4}$, что согласуется с литературными данными [25]; болт - $\chi_{y\partial} = 3,731 \cdot 10^{-3}$; гайка $\chi_{y\partial} = 3,246 \cdot 10^{-3}$.

Для определения $\chi_{T \text{ шара}}$ воспользуемся формулой:

$$\chi_{T \text{ шара}} = \frac{\chi_{\text{в}}}{1 + N_{\text{шара}} \cdot \chi_{\text{в}}}, \quad (3.10)$$

$$\chi_{\text{в}} = \chi_{y\partial} \cdot \rho_2, \quad (3.11)$$

$$\chi_{T \text{ шара}} = 2,901$$

где $\chi_{y\partial}$ - удельная магнитная восприимчивость, $\chi_{y\partial} = 8,75 \cdot 10^{-4}$.

Рассчитанные по формуле (3.8) χ_T имеют значения:

$$\chi_{T \text{ шара}} = 11,772; \quad \chi_{T \text{ болта}} = 49,766; \quad \chi_{T \text{ гайки}} = 43,3.$$

Используя выражение (3.12) находим значения фактора формы для тел различной конфигурации:

$$N = \frac{\chi_{\text{в}} - \chi_T}{\chi_{\text{в}} \cdot \chi_T} \quad (3.12)$$

где $\chi_{\text{в}}$ - магнитная восприимчивость вещества,

$$\chi_{\text{в}} = \chi_{y\partial} \cdot \rho_2$$

$$\chi_{\text{в}} = 68,25.$$

Рассчитанные по формуле (3.12) N имеют значения:

$$N_{\text{шара}} = 0,07029; \quad N_{\text{болта}} = 0,00544; \quad N_{\text{гайки}} = 0,00844;$$

Полученные N и ψ используем для инженерного расчета, подставляя N в формулу (3.8) и находя χ_T для каждой формы тела и при решении (2.34).

На основе изложенного рекомендуется, что при расчете электромагнитных сепараторов использовать $\chi_{\text{во}}$ как справочную величину с последующим уточнением, согласно данных, полученных при испытании моделей или опытных образцов. Совмещение графических зависимостей: экспериментальной, эмпирической и метода инженерного расчета (рис 3.22) показывает высокую достоверность предложенных нововведений.

Как видно из графика значения $I=f(Y_p)$ вычисленные с использованием $N_{\text{теор}}$ значительно превышают и экспериментальные и полученные методом инженерного расчета, что позволяет сделать вывод о целесообразности его применения с уточненными коэффициентами N для разработки электромагнитных сепараторов с эффективным использованием материало- и энергоресурсов.

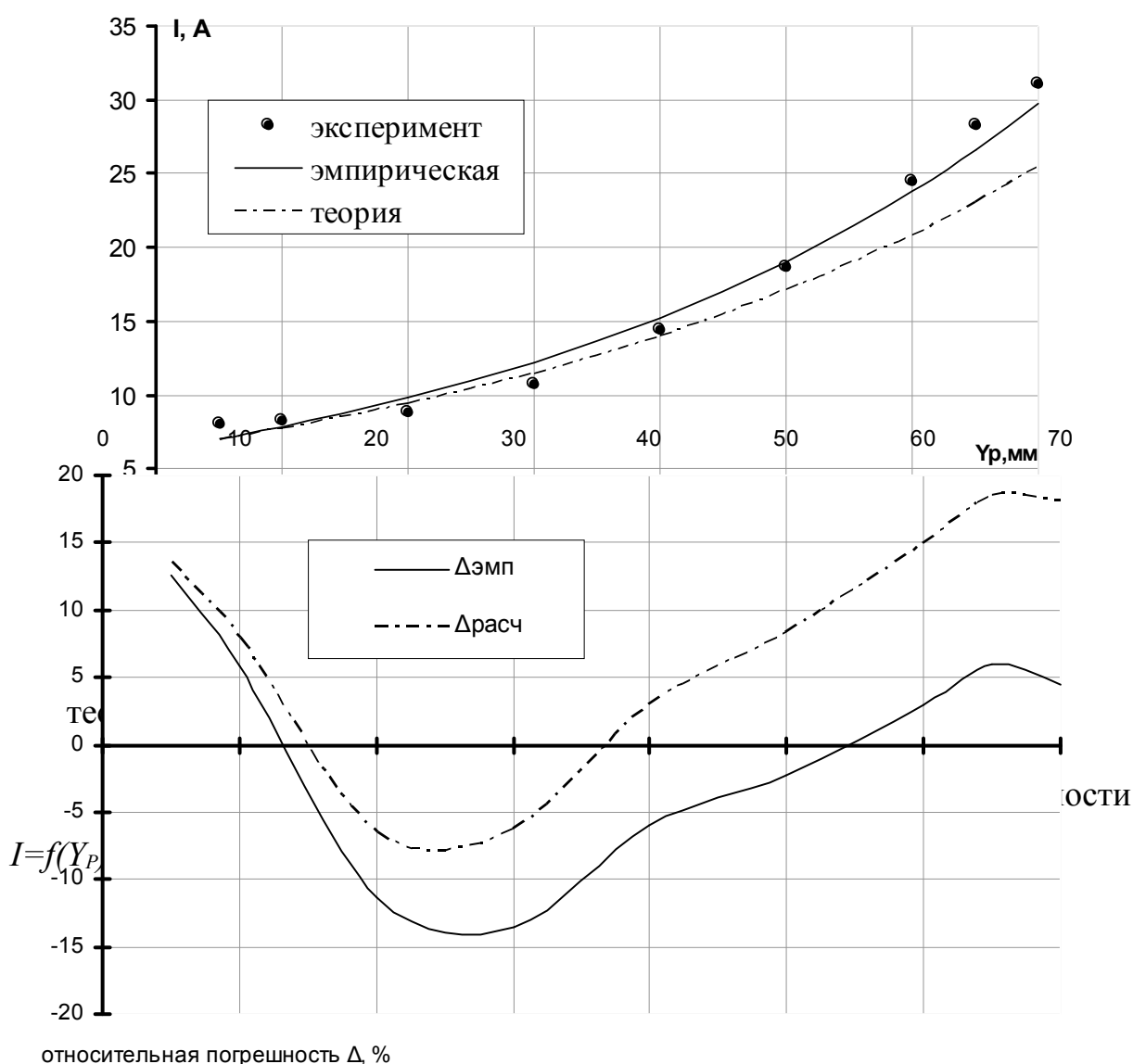


Рис 3.23. Сравнительная оценка погрешностей относительно результатов эксперимента $I=f(Y_p)$

Извлечение ферромагнитных тел из виброкипящего слоя зерновых материалов. Изучение процесса извлечения ФМТ из неподвижного слоя зерновых материалов показало, что тела средних (3... 5мм) размеров, по сравнению с крупными, не полностью извлекаются существующими сепараторами. Это обусловлено многими факторами: толщиной, плотностью, крупностью зерен и другими параметрами слоя и извлекаемых ФМТ [88, 89].

Одним из способов повышения эффективности извлечения электромагнитами сепараторами ферромагнитных тел из зерновых материалов является перевод их из неподвижного состояния в активно перемешивающийся слой [37].

Отличительной особенностью данного способа является увеличение порозности слоя зерновых материалов непосредственно в рабочей зоне извлечения, что в – первых значительно уменьшает силы сопротивления движению тел, во – вторых способствует "всплыванию" тел на поверхность слоя (рис. 3.24).

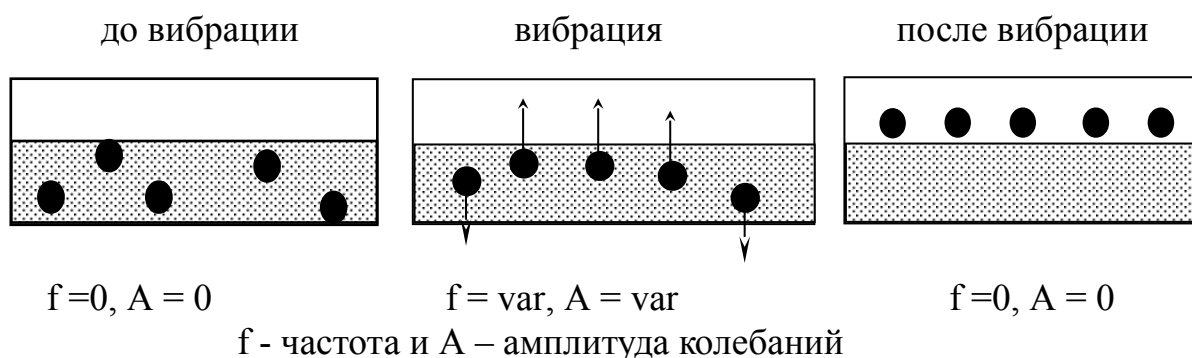


Рис. 3.24. Схема формирования виброкипящего слоя зерновых материалов с ферромагнитными телами

Создание виброкипящего слоя осуществлялось на специальной установке (рис.3.25): кювета 1 для зерна; электромагнитный вибратор - состоящий из статора 2 с обмоткой 3, якоря 4, статор и якорь разделены между собой амортизационными прокладками 5. Питание обмотки от сети, следовательно, якорь вместе с кюветой колебался с частотой сети; регулирование амплитуды колебаний якоря осуществлялось изменением толщины прокладок.

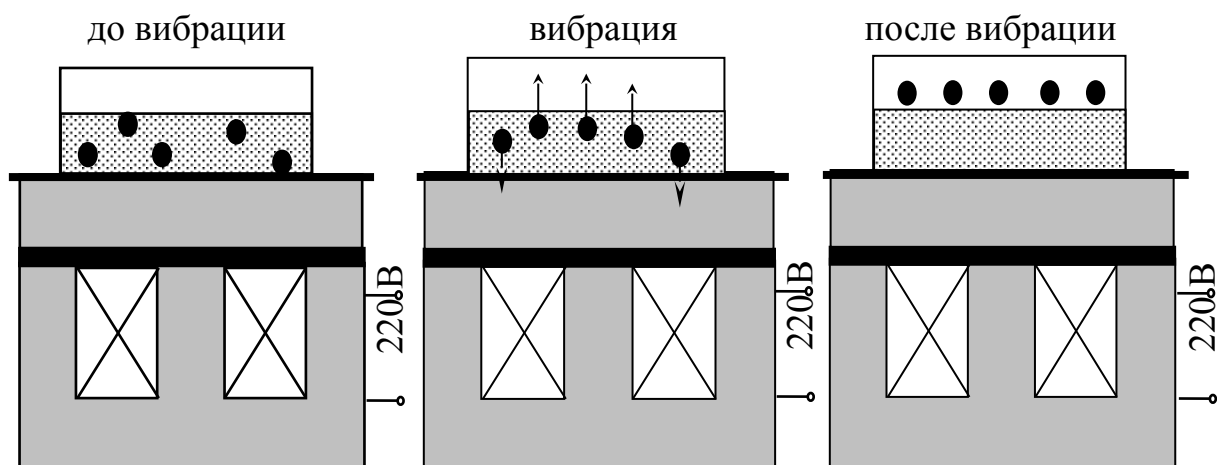


Рис. 3.25. Схема и общий вид экспериментальной установки виброкипящего слоя зерновых материалов: 1 – кювета; 2 – статор вибратора; 3 – обмотка; 4 – якорь вибратора; 5 – амортизационные

В ходе эксперимента выявлено, что при вибрации зерновых материалов с магнитными телами увеличивается порозность ε слоя (отношение высоты $h_{ВБ}$ вибрирующего слоя к высоте $h_{СЛ}$ неподвижного) и, следовательно, уменьшаются силы сцепления между зернами и сопротивление. Установлено, что для пшеницы $\varepsilon_{пш}=h_{ВБ}/h_{СЛ}=1,3$ а для подсолнечника $\varepsilon_{пс}=1,1$.

В то же время ФМТ за счет значительных массовых сил „подбрасываются” с большей амплитудой по сравнению с частицами зерна, т.е. „всплывают” на поверхность слоя. Далее они извлекаются так же, как описано выше.

Следует отметить, что у различных зерновых материалов существуют „свои” числовые значения вибрации слоя, как по амплитуде, так и по частоте, поэтому необходимы более обширные исследования по изучению предложенной технологии извлечения ФМТ из зерновых материалов.

3.3.2. Исследование влияния шихтовки магнитопровода электромагнитного сепаратора на извлечение ферромагнитных тел из зерна

Цель эксперимента - определение силы тока I в обмотке шихтованного электромагнитного сепаратора и времени при „подъеме” тел различной массы и формы с поверхности неподвижного слоя зерна в зависимости от расстояния Y_p при условии равенства сил тяжести и магнитной $F_t = F_m$ (см. раздел 2.2, рис. 2.2, 2.6).

Методика проведения экспериментальных исследований описана выше (см. разд. 3.3.1), также фиксировались сила тока в обмотке I (А), расстояние Y_p (мм) между плоскостью с телом и полюсом электромагнита и время t (с).

Шихтовка магнитопровода электромагнитного сепаратора осуществлялась следующим образом: в качестве немагнитного материала служил картон, из которого вырезались прокладки идентичные по форме и размерам пластинам электротехнической стали (рис. 3.26).



Рис. 3.26. Технология шихтовки электромагнитного сепаратора.

При сборке магнитопровода пластины из стали чередовались с пластинами из картона. Соотношения стальных и картонных пластин были различными, но не более 44%. При дальнейшем увеличении соотношения пластин металл-картон наблюдалось снижение показателей.

На рис. 3.27-3.30 приведены результаты эксперимента извлечения ФМТ электромагнитным сепаратором с шихтованным (рис. 3.27-3.29) и для сравнения с нешихтованным (рис. 3.30) магнитопроводом.

Анализ полученных результатов показал, что функциональные зависимости силы тока I от Y_P положения ФМТ под полюсом по вертикали имеют вид:

- сила тока в обмотке I в зависимости от расстояния от полюса до тела Y_P (шихтовка магнитопровода = 0%) описывается закономерностью вида:

$$I(Y_P) = A \cdot e^{B Y_P} = 5,307 \cdot e^{0,0205 Y_P}, \quad (3.13)$$

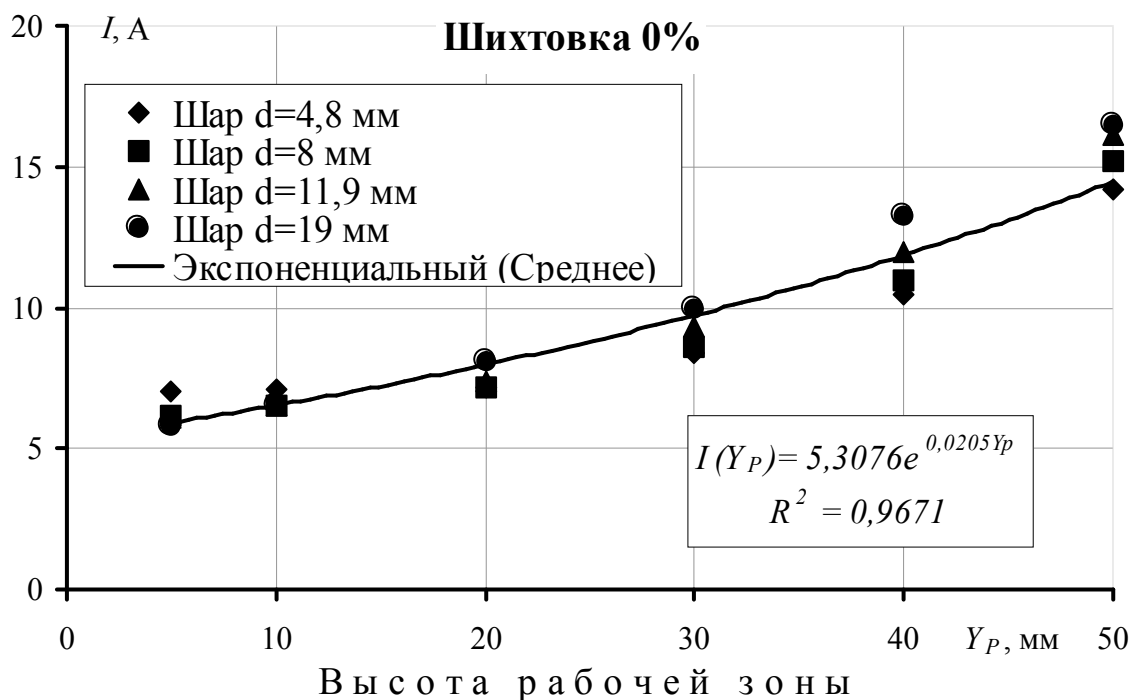


Рис. 3.27. Зависимость силы тока в обмотке сепаратора от положения тела по высоте рабочей зоны.

- сходимость экспериментальных данных с закономерностью (3.2) составляет >98% (среднеквадратичное отклонение $R^2=0,9671$).

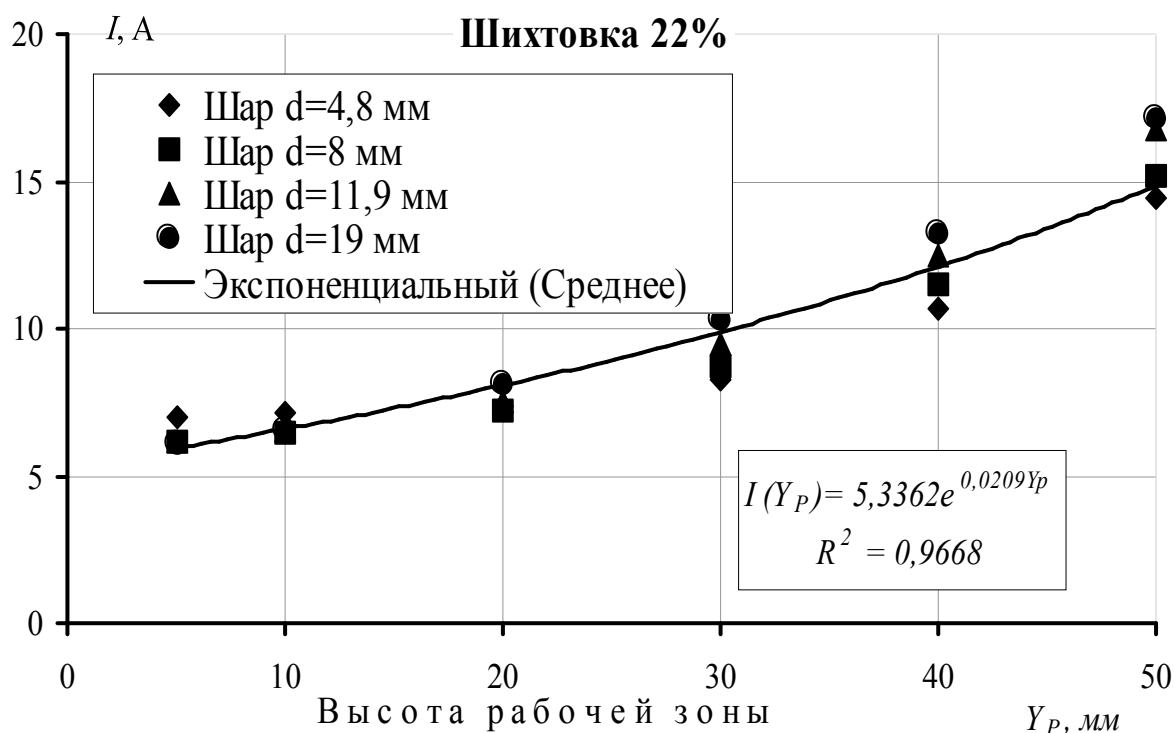


Рис. 3.28. Зависимость силы тока в обмотке сепаратора от положения тела по высоте рабочей зоны:
- сила тока в обмотке I в зависимости от расстояния от полюса до тела Y_p (шихтовка магнитопровода = 22%) описывается закономерностью вида:

$$I(Y_p) = A \cdot e^{B \cdot Y_p} = 5,336 \cdot e^{0,0209 Y_p}, \quad (3.14)$$

- сходимость экспериментальных данных с закономерностью (3.2) составляет >98% (среднеквадратичное отклонение $R^2=0,9668$).

- сила тока в обмотке I в зависимости от расстояния от полюса до тела Y_p (шихтовка магнитопровода = 33%) описывается закономерностью вида:

$$I(Y_p) = A \cdot e^{B \cdot Y_p} = 5,328 \cdot e^{0,0213 Y_p}, \quad (3.15)$$

- сходимость экспериментальных данных с закономерностью (3.2)

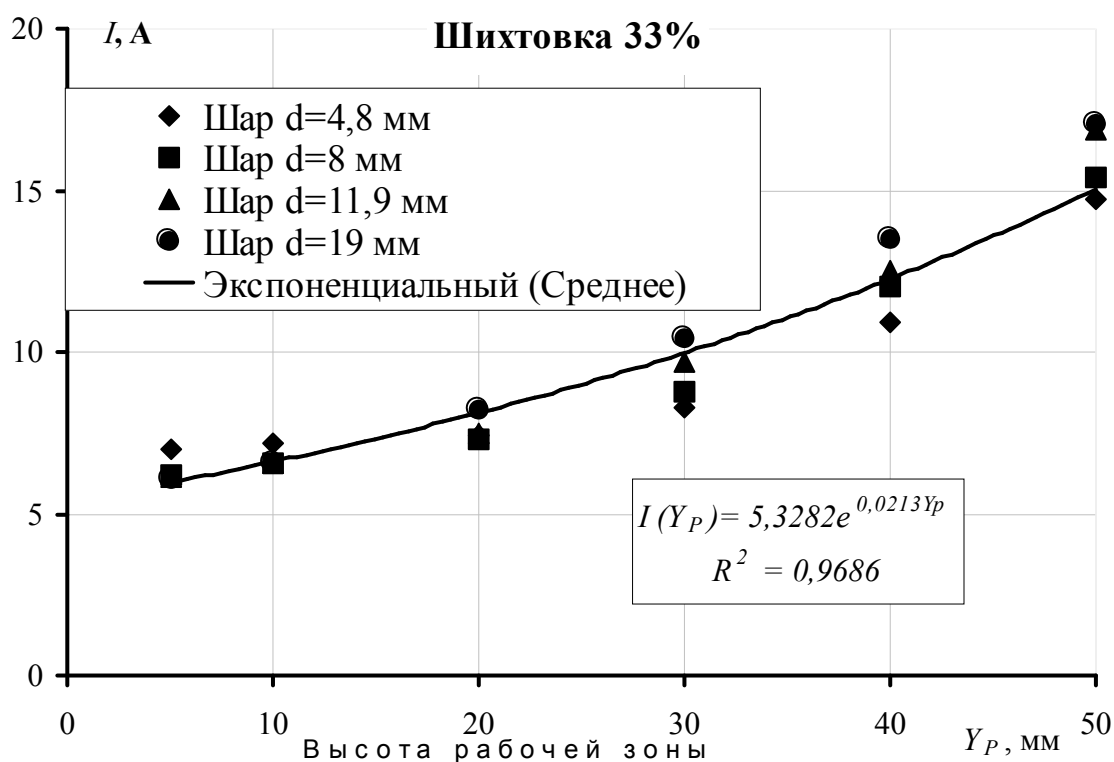


Рис. 3.29. Зависимость силы тока в обмотке сепаратора от положения тела по высоте рабочей зоны (среднее квадратичное отклонение $R^2=0,9686$).

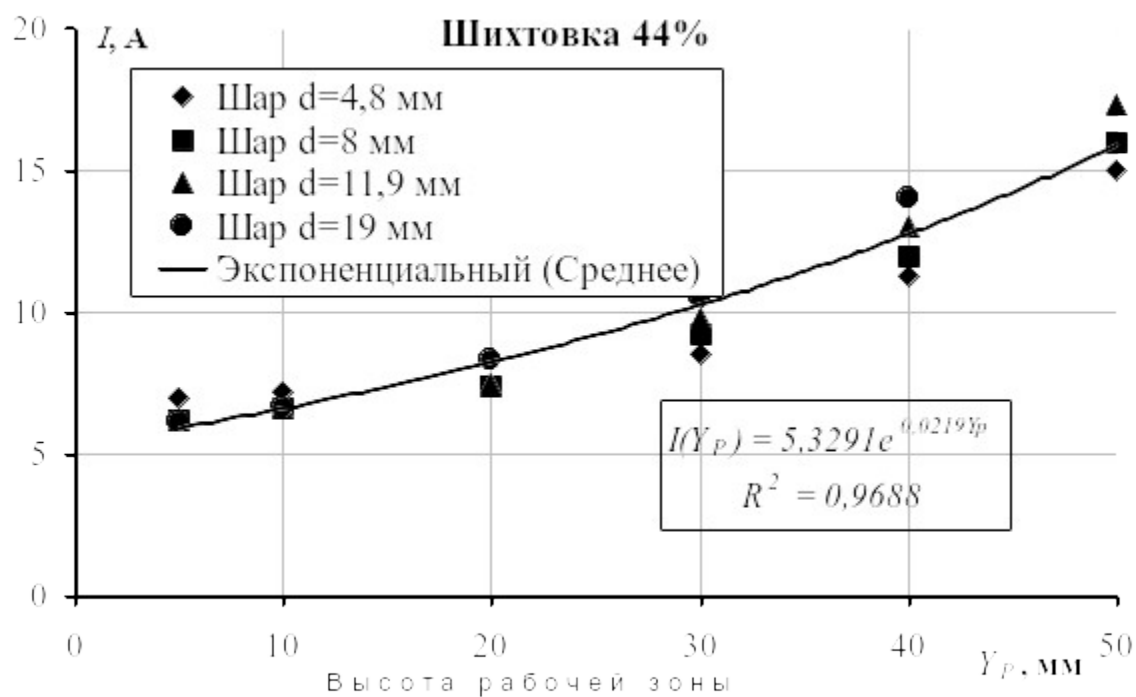


Рис. 3.30. Зависимость силы тока в обмотке сепаратора от положения тела по высоте рабочей зоны: $I = f(Y_P)$.

- сила тока в обмотке I в зависимости от расстояния от полюса до тела Y_p (шихтовка магнитопровода = 44%) описывается закономерностью вида:

$$I(Y_p) = A \cdot e^{B \cdot Y_p} = 5,3291 \cdot e^{0,0219 Y_p}, \quad (3.16)$$

- сходимость экспериментальных данных с закономерностью (3.2) составляет >98% (среднеквадратичное отклонение $R^2=0,9688$).

Погрешность между приведенными зависимостями по отношению к исходному (шихтовка магнитопровода 0%) не превышает:

$$\Delta = \frac{R^2(44\%) - R^2(0\%)}{R^2(44\%)} \cdot 100\% = \frac{0,9688 - 0,9671}{0,9688} \cdot 100\% = 0,17548\%, \quad (3.17)$$

Обобщив (3.13), (3.14), (3.15), (3.16), была получена эмпирическая зависимость силы тока в обмотке от положения тела по вертикали в виде:

$$I(Y_p) = A \cdot e^{B \cdot Y_p} = 5,323 \cdot e^{0,0211 Y_p}, \quad (3.18)$$

На основании вышеизложенных исследований можно утверждать, что предложенная конструкция электромагнитного сепаратора с шихтованным магнитопроводом по патенту [59] работает без снижения качества извлечения ФМТ из зерновых материалов, а ее преимущество заключается в экономии дорогостоящих электротехнических материалов и обмоточного провода, по крайней мере, до 30%. Для приближенной оценки применения предложенного способа уменьшения материалоемкости электромагнитных сепараторов рекомендуются зависимости (3.18) для шихтованного магнитопровода и (3.13) для нешихтованного.

3.4. Разработка опытно-промышленного электромагнитного сепаратора для извлечения ферромагнитных тел из зерновых материалов

Опытно-промышленный образец электромагнитного сепаратора для извлечения ФМТ из зерновых материалов разработан на основе выше приведенных теоретических и экспериментальных исследований и рассчитан с помощью предлагаемого инженерного метода расчета, что позволяет снизить количество медного обмоточного провода в сравнении с существующими электромагнитными сепараторами, применяемыми для магнитной сепарации зерновых материалов.

Разработанный электромагнитный сепаратор (рис. 3.31, 3.32) имеет следующие характеристики (табл. 3.4):



Рис. 3.31. Внешний вид опытного сепаратора.

Таблица 3.4.

Параметры опытно-промышленного сепаратора

Название параметра	Обозначение	Ед. изм.	Величина	Источник информации
<i>Магнитопровод</i>				
1.Марка электротехн. стали	Э12			
2.Длина магнитопровода	l	мм	633	Согласно конструкции пластин электротехнической стали
3.Ширина магнитопровода	d	мм	120	
4.Высота магнитопровода	h	мм	360	Согласно конструкции пластин электротехнической стали
5. Ширина полюса	a	мм	82	
6.Высота окна обмотки	H_1	мм	282	
7.Ширина окна обмотки	b	мм	191	
8. Вес магнитопровода	$m_{\text{магн}}$	кг	130	

Продолжение табл. 3.4.

Название параметра	Обозначение	Ед. изм.	Величина	Источник информации
Обмотка				
9. Диаметр обмоточного провода	d_{np}	мм	1,27	Выбирается
Марка провода	<i>ПЭВ-1</i>			
10. Плотность тока в обмотке	j	$\frac{A}{mm^2}$	2,5	Рекомендуется из условий охлаждения
11. Коэффициент заполнения	k_z	б/р	0,051	Принимается
12. Удельное сопротивление обмоточного провода (медь)	ρ_m	Ом·м	0,0175	Справочный параметр
13. Магнитная постоянная	μ_0	Гн/м	$4\pi \cdot 10^{-7}$	Const
14. Число витков	W	витки	2792	
15. Вес обмотки	$m_{обм}$	кг	50	
Источник питания				
16. Марка				ЛАТР –127/220
17. Ток (максимальный)	I_{max}	А	3,17	
18. Напряжение	U	В	0...220В	

Параметры ферромагнитного тела извлекаемого опытно – промышленным сепаратором:

Таблица 3.5

Параметры ферромагнитного тела

13. Уд. магнитная восприимчивость	$\chi_{уд}$	м ³ /кг	$8,75 \cdot 10^{-4}$	Справочный параметр
14. Плотность тела	ρ_2	кг/м ³	$7,8 \cdot 10^3$	Справочный параметр

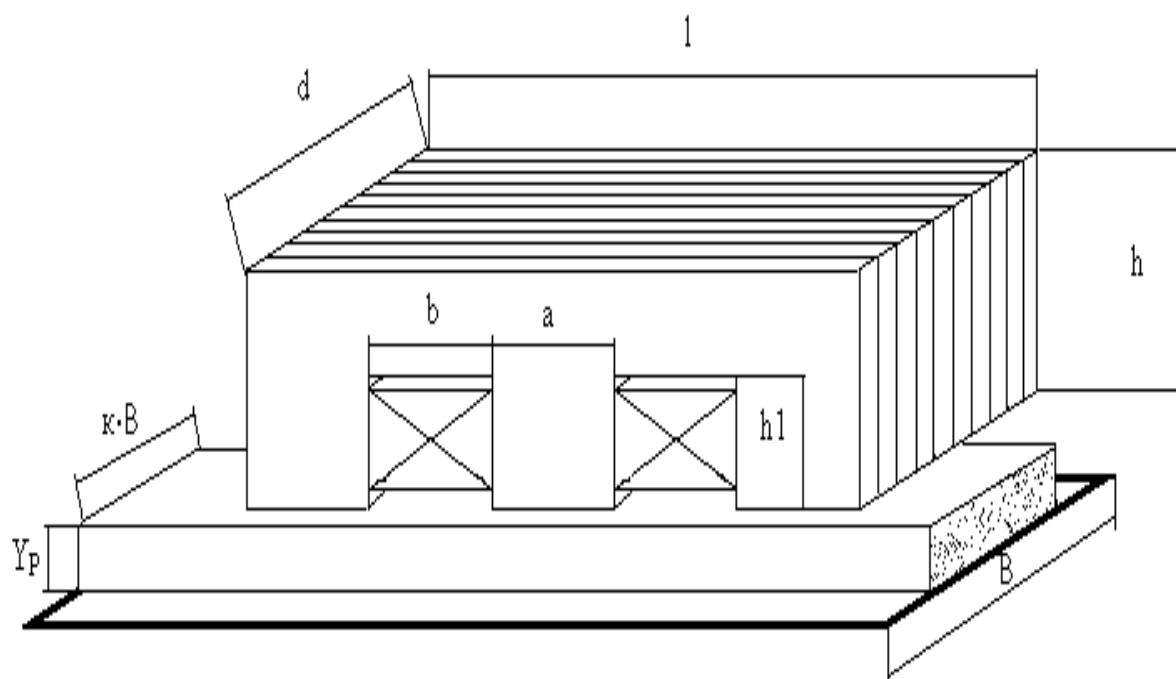


Рис. 3.32. Расчетная схема электромагнитного сепаратора.

Таблица 3.6

Название параметра	Обозначение	Ед. изм.	Величина	Источник информации
15. Гравитационная постоянная	g	м/с ²	9,81	Const
Транспортер и слой зерна				
16. Ширина транспортерной ленты	B	м	0,55	Справочный параметр
17. Скорость транспортерной ленты	$U_{тр}$	м/с	0,12	Паспортный параметр
18. Насыпной вес зерна	$\rho_{нв}$	кг/м ³	$2,7 \cdot 10^3$	Справочный параметр
19. Производительность (подача) транспортера	$Q_{тр}$	кг/с	0,277	Паспортный параметр
20. Коэффициент, учитывающий ширину слоя на ленте	κ	б/р	0,8–0,7	Справочный параметр

Технологические параметры

Расчет опытно-промышленного сепаратора по предложенному методу:

Технологический расчет:

Высота слоя на ленте Y_P' , мм:

$$Y_P' = \frac{Q_{np}}{U_{np} \cdot \kappa \cdot B \cdot \rho_{HB}} = \frac{0,277}{0,12 \cdot 0,8 \cdot 0,55 \cdot 2,7 \cdot 10^3} = 1,94_{мм}$$

Электротехнический расчет:

Межполюсный шаг s , м:

$$s = a + b = 0,082 + 0,191 = 0,273_{м}$$

Длина среднего витка обмотки $l_{ср.витка}$, м:

$$l_{ср.витка} = 2(a + 2b + d) = 2(0,082 + 2 \cdot 0,191 + 0,12) = 1,168_{м}$$

Сечение провода q_1 , мм²:

$$q_1 = \frac{\pi \cdot d_{np}^2}{4} = \frac{\pi \cdot 1,27^2}{4} = 1,266_{мм^2}$$

Сечение окна обмотки q_0 , мм²:

$$q_0 = h \cdot b = 360 \cdot 191 = 68760_{мм^2}$$

Число витков w :

$$w = kz \cdot \frac{q_o}{q_1} = 0,051 \cdot \frac{68760}{1,266} = 2792 \text{ витка}$$

Длина провода обмотки $l_{обм}$, м:

$$l_{обм} = l_{ср.витка} \cdot W = 1,168 \cdot 2792 = 3262 \text{ м}$$

Сопротивление обмотки $R_{обм}$, Ом:

$$R_{обм} = \rho_{\text{м}} \cdot \frac{l_{обм}}{q_1} = 0,0175 \cdot \frac{3262}{1,266} = 45,1 \text{ Ом}$$

Сила тока в обмотке I , А:

$$I = j \cdot q_1 = 2,5 \cdot 1,266 = 3,17 \text{ А}$$

Мощность P , Вт:

$$P = I^2 \cdot R_{обм} = 3,17^2 \cdot 45,1 = 453,2 \text{ Вт}$$

Средняя длина силовой линии L_0 , мм:

$$L_0 = s \cdot \psi = 273 \cdot 1,43 = 392 \text{ мм}$$

Напряжение U , В:

$$U = I \cdot R_{обм} = 3,17 \cdot 45,1 = 142,9 \text{ В}$$

В качестве примера на рис. 3.33 приведены зависимости силы тока в обмотке от положения тела под полюсом, вычисленные для экспериментального электромагнитного сепаратора.

Для данной конструкции зависимость (2.21) имеет вид:

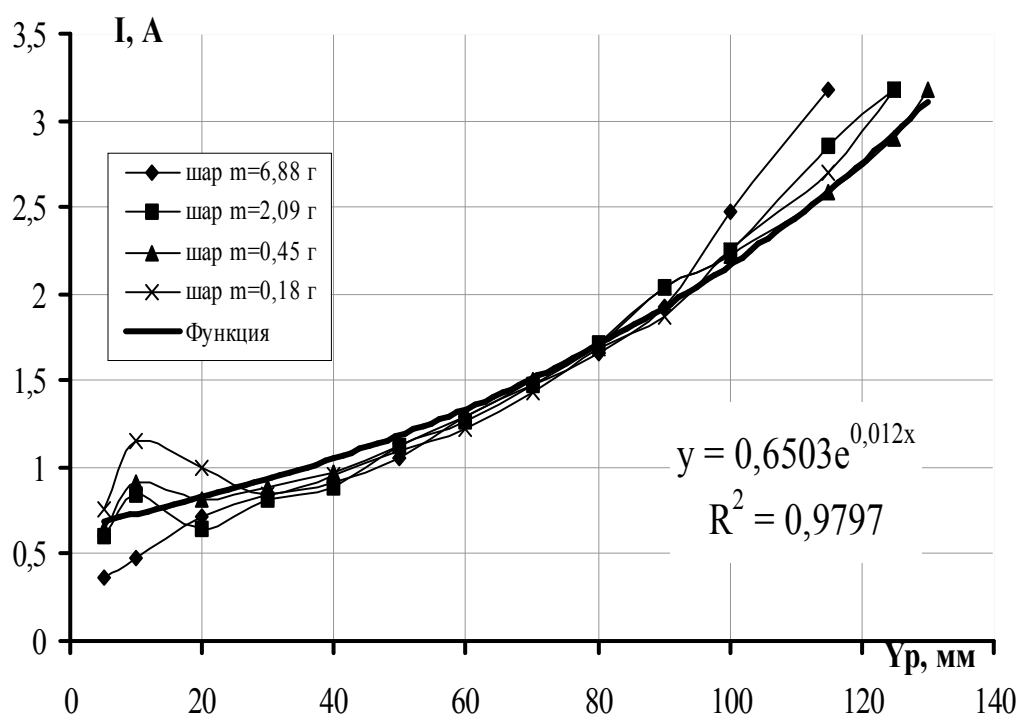


Рис. 3.33. Зависимость силы тока в обмотке сепаратора от положения тела по высоте рабочей зоны: .

Технология сборки: сборка опытного сепаратора проводится в следующей последовательности:

1. Шихтовка магнитопровода;
2. Стяжка магнитопровода;

3. Намотка намагничивающей обмотки;
4. Монтаж катушки на магнитопровод.

Шихтовка магнитопровода (рис. 3.34) проводится по общеизвестной методике. Особое внимание следует обратить на соосность укладки пластин. В противном случае возможно затруднение монтажа намагничивающей обмотки.

Так как магнитопровод работает на постоянном токе, то допустимо применение пластин с нарушенной целостностью лакового слоя. Стяжка магнитопровода производится шпильками вставленными в отверстия просверленные в точках А (рис 3.35). Магнитопровод для обеспечения достаточной жесткости и прочности стягивается двумя пластины из стали. Полюса магнитопровода крепятся клепкой в точках В.

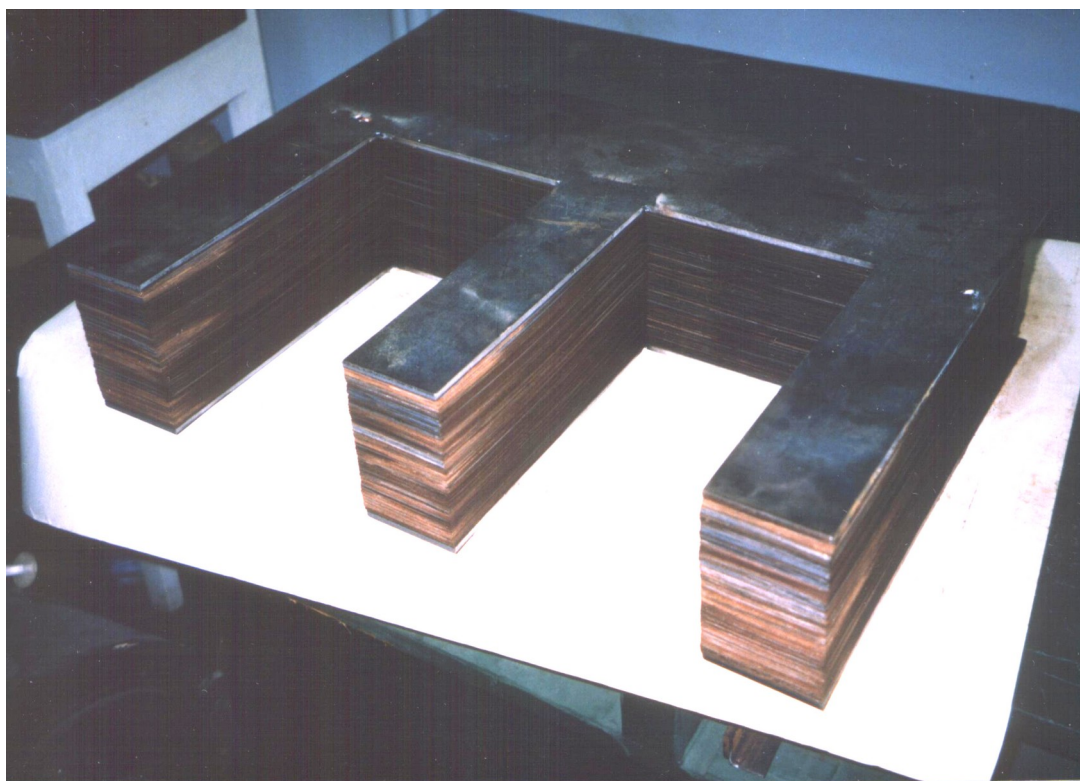


Рис. 3.34. Внешний вид магнитопровода опытного сепаратора.

Обмотка магнитопровода (рис 3.36) наматывается на конусную оправку, (для облегчения снятия). Перед этим на оправку накладывается ки-

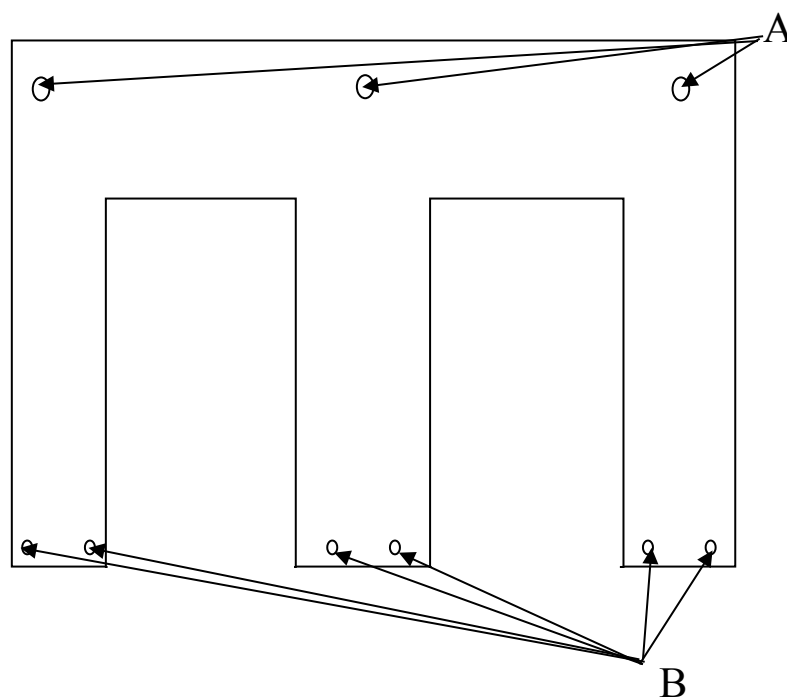


Рис. 3.35. Места крепления магнитопровода опытного сепаратора. перная лента, которая служит силовым каркасом. Изоляция промежуточных слоев не производится.

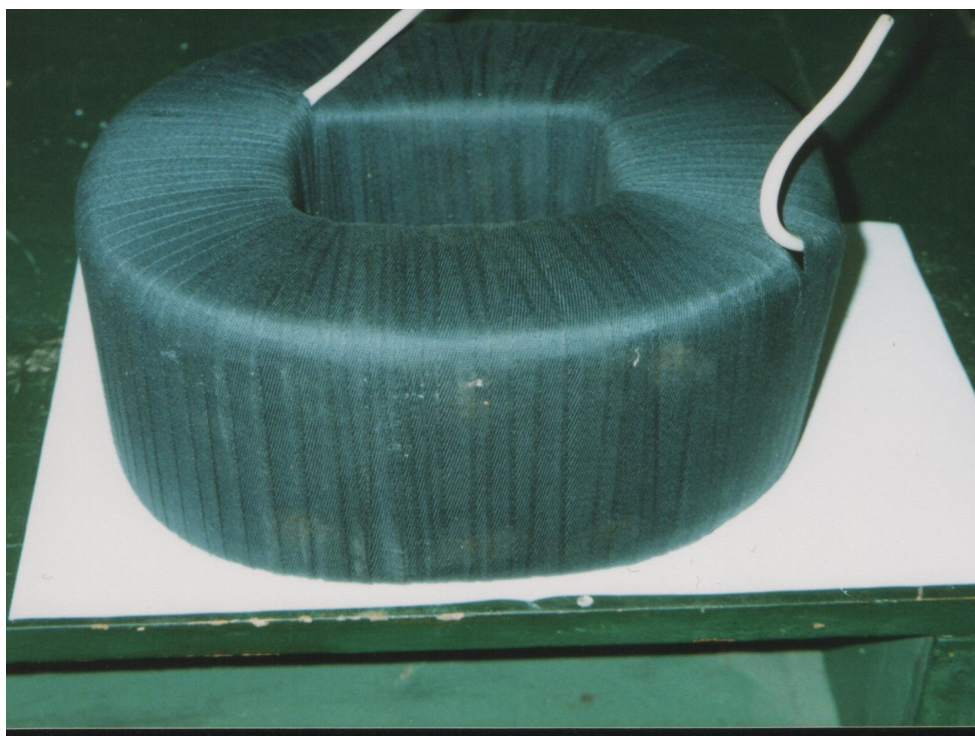


Рис. 3.36. Внешний вид обмотки опытного сепаратора.

Монтаж электромагнитного сепаратора осуществляется при помощи стандартных транспортных устройств (электрических талей, лебедок и т.д.) с учетом требований по технике безопасности при работе с тяжелыми предметами.

3.5. Обнаружение ферромагнитных тел в потоке зерновых материалов

Разработка энергосберегающих технологий извлечения ФМТ из зерновых материалов невозможна без устройств обнаружения ФМТ. Своевременное обнаружение ФМТ при переработке зерновых материалов способствует повышению качества продукции, предупреждению аварийных ситуаций и экономии электрической энергии за счет работы электромагнитных сепараторов в "ждущем режиме" [11], особенно при

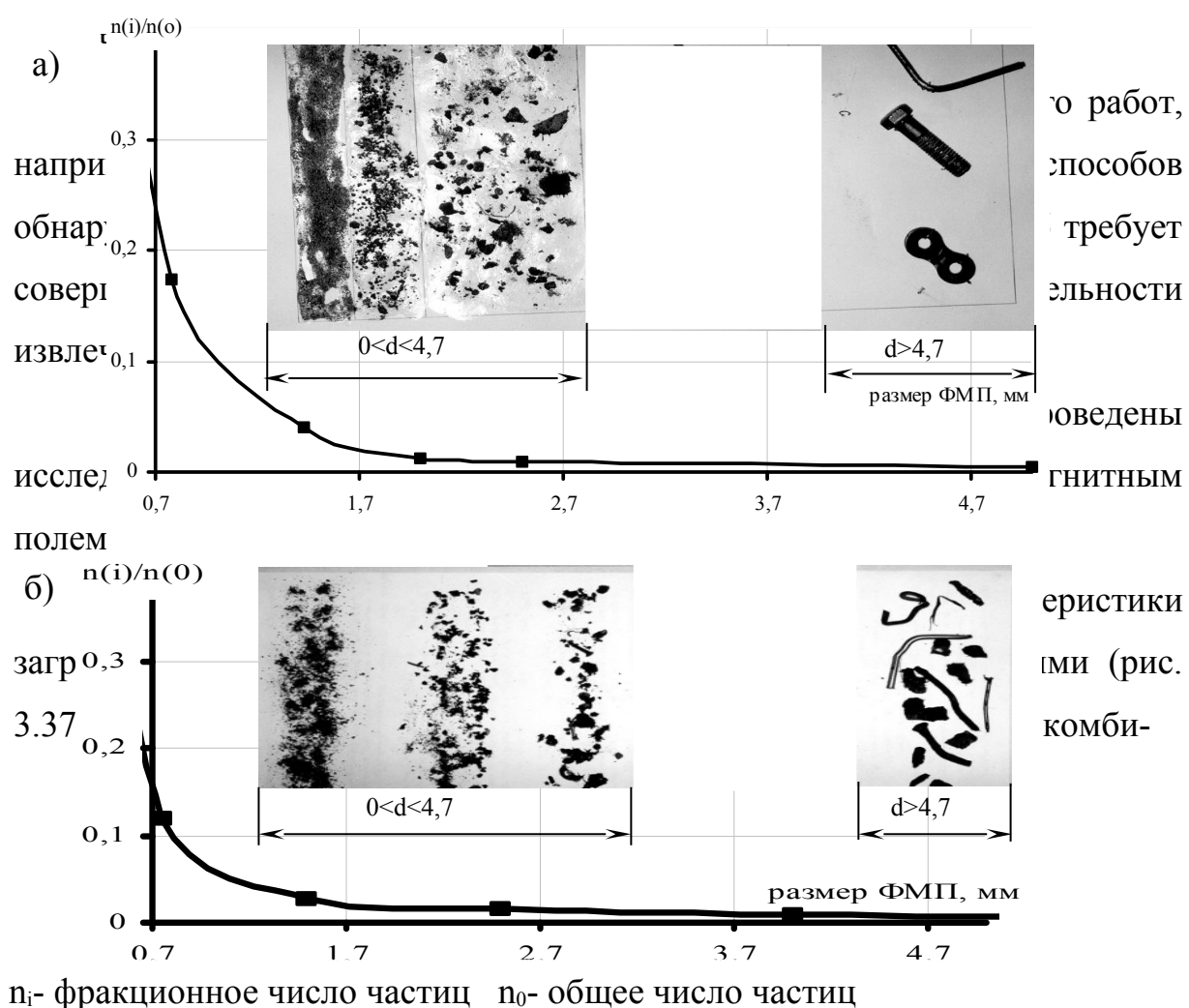


Рис. 3.37. Гранулометрические характеристики загрязнений зерна ФМП (а – зерно, б – подсолнечник)

нате (рис. 3.37,а) и Мелитопольском маслоэкстракционном заводе (рис. 3.37, б).

Экспериментальные исследования устройства обнаружения осуществлялись следующим образом:

- методика эксперимента, - изменялись U_{nut} ИП устройства обнаружения и d вносимых ФМТ; измерялось $U_{вых}$ (рис. 3.39).
- оборудование (табл. 3.4):

Таблица 3.4

Экспериментальное оборудование

Оборудование	Тип	Кол- во	Примечание
1 Регулировочный трансформатор	ЛАТР	1	0...220
2 Резистор R1, R2	МЛТ	2	R ₁ , R ₂ =100 кОм
3 Выпрямительный диод	Д245А	4	
4 Усилитель DA1	К140УД7	1	K _{уд} =1...1000

5Осциллограф N1	C1-96	1	Двухканальный
-----------------	-------	---	---------------

- конструкция устройства обнаружения ФМТ и схема исследований (рис. 3.38, 3.39):

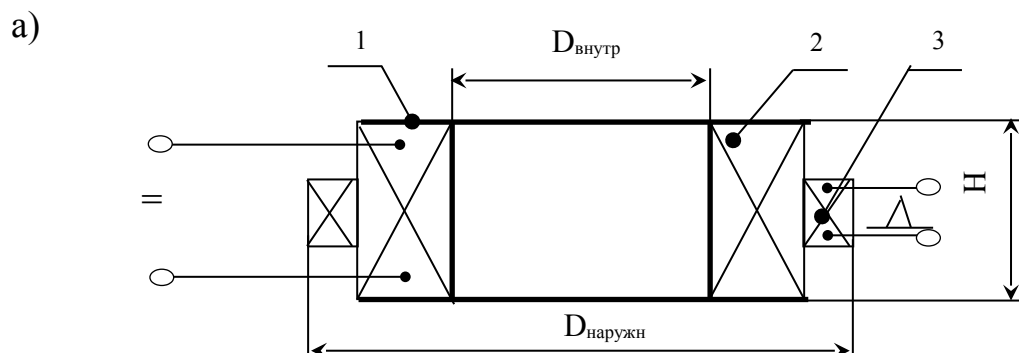


Рис. 3.38. Конструкция устройства обнаружения ФМТ в зерновых материалах: 1 – каркас немагнитный; 2,3 – обмотки основная и измерительная.

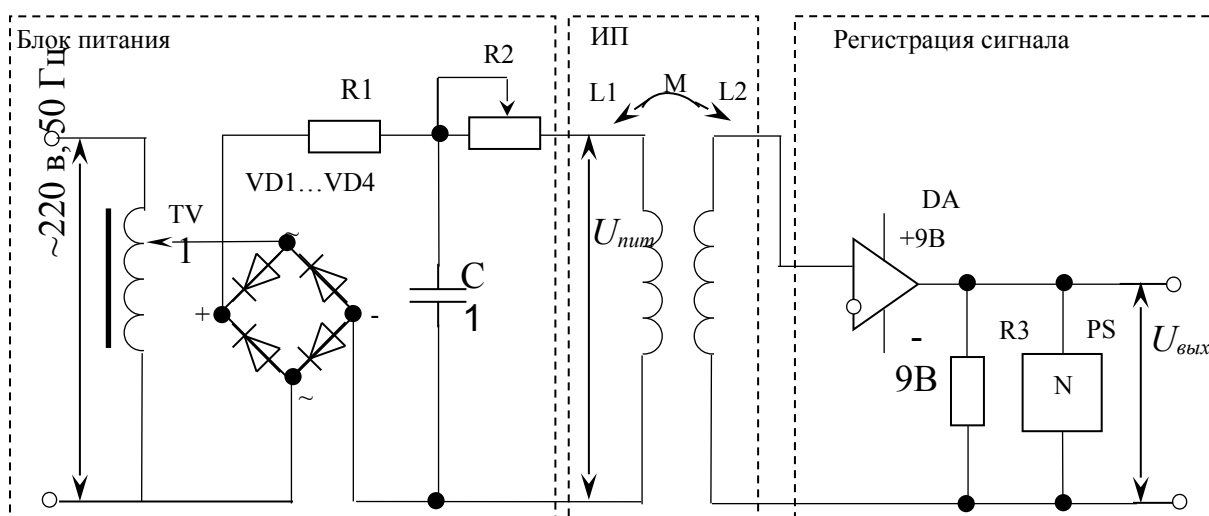


Рис. 3.39. Схема электрическая принципиальная экспериментальной установки исследования устройства обнаружения ФМТ в зерновых материалах.

- результаты, - фиксировались и регистрировались следующие параметры: сила тока в намагничивающей обмотке, напряжение на выходе изм. обмотки.

- по результатам эксперимента, обработанных на ПЭВМ, построены графические (рис. 3.40 - 3.43), и определены эмпирические зависимости

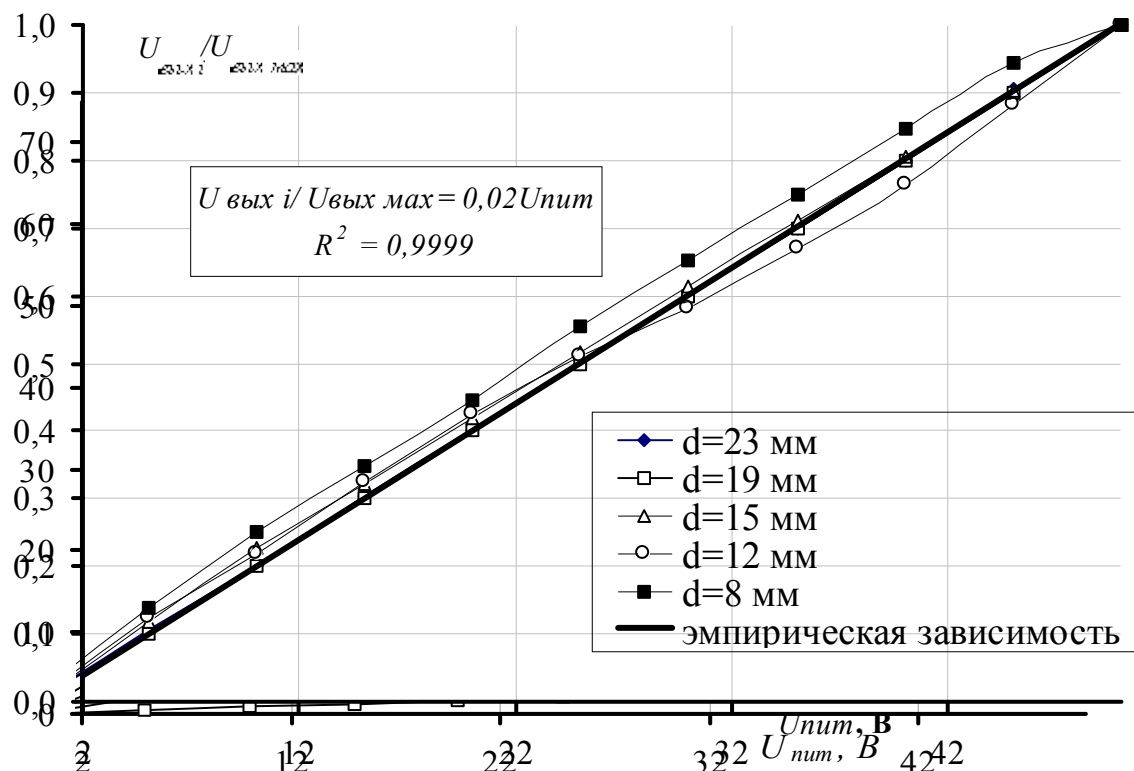


Рис. 3.41. Зависимость выходного импульса напряжения в относительных единицах от напряжения питания основной обмотки.

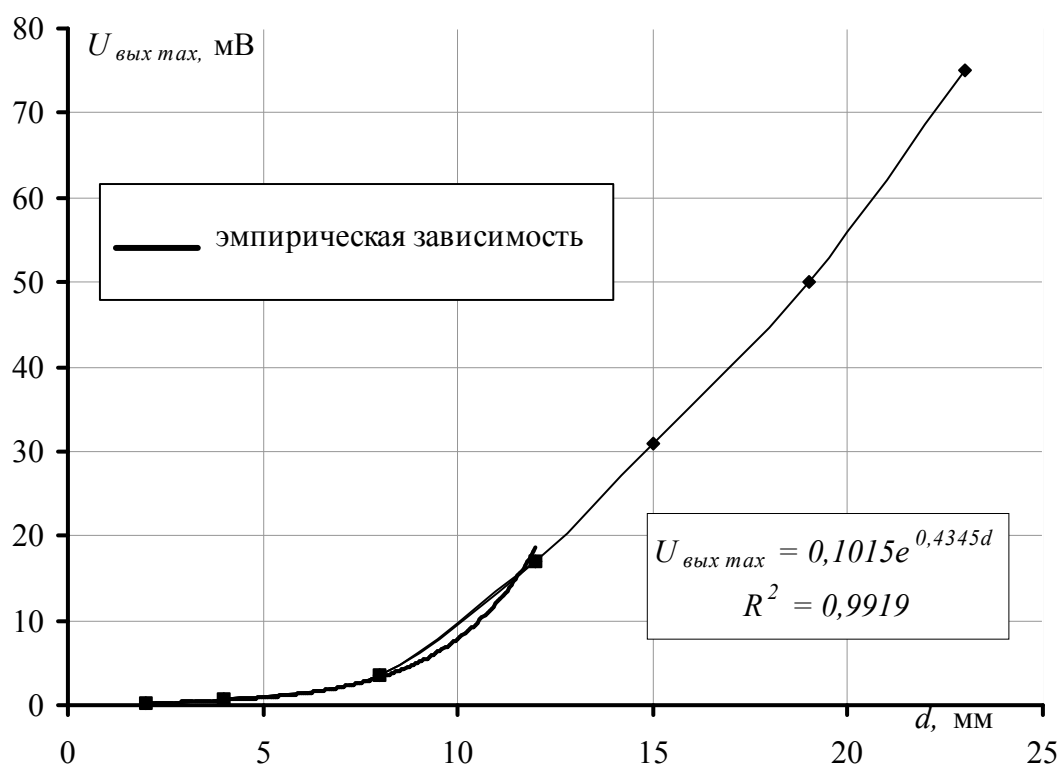


Рис. 3.42. Зависимость выходного максимального импульса напряжения от диаметра ферромагнитного тела.

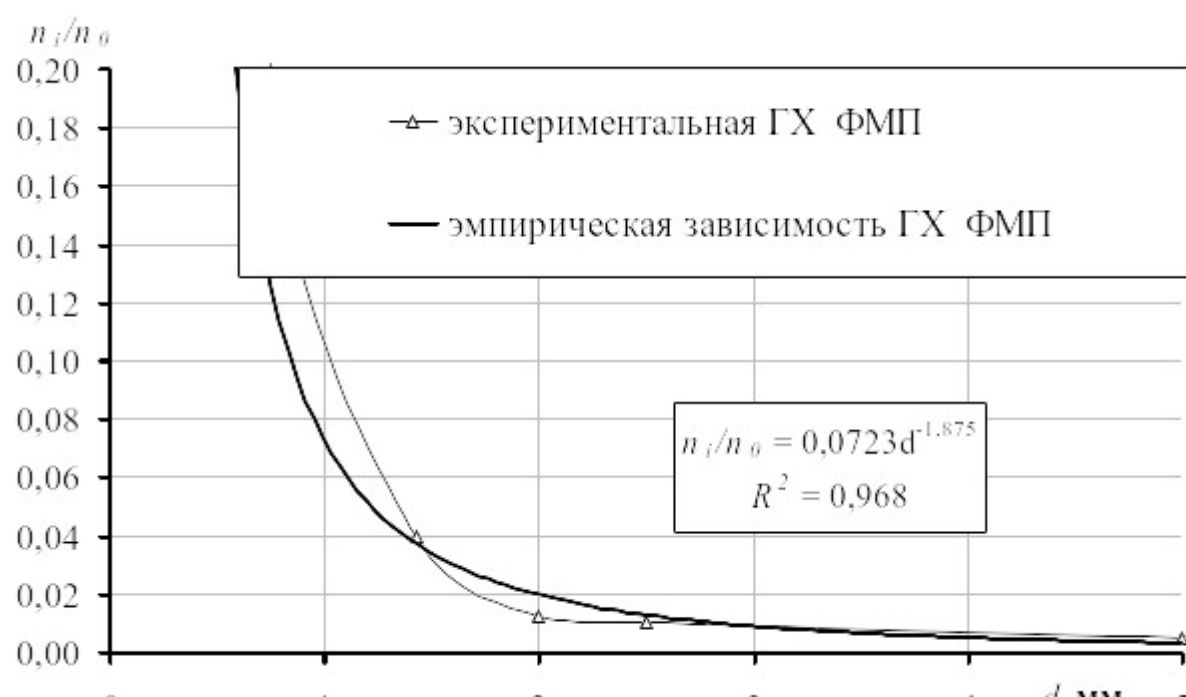


Рис. 3.43. Гранулометрическая характеристика ФМП извлечения из зерновых материалов

(3.19-3.22), связывающие выходное напряжение устройства обнаружения с размером ферромагнитных примесей:

$$\frac{U_{\text{вых } i}}{U_{\text{вых } \text{max}}} = a_1 \cdot U_{\text{num}}; \quad U_{\text{вых } i} = a_1 \cdot U_{\text{вых } \text{max}} \cdot U_{\text{num}}, \quad (3.19)$$

$$U_{\text{вых } \text{max}}(d) = a_2 e^{b_1 d}, \quad (3.20)$$

$$U_{\text{вых } i}(U_{\text{num}}, d) = a_3 e^{b_1 d} \cdot U_{\text{num}}, \quad (3.21)$$

$$\frac{n_i}{n_0} = a_5 d^{-b_2}, \quad (3.22)$$

где $a_1, a_2, a_3, a_4, a_5, b_1, b_2$ – числовые коэффициенты полученные экспериментальным путем.

Обобщив 3.19-3.21 в окончательном виде расчетная формула имеет вид:

$$\frac{U_{\text{вых } i}}{U_{\text{вых } \text{max}}}(U_{\text{num}}, d) = a_4 e^{b_1 d} \cdot U_{\text{num}}, \quad (3.23)$$

Таким образом, проведенные исследования подтвердили работоспособность устройства обнаружения ФМТ; оно было включено в общую схему устройства извлечения ФМТ из зерновых материалов.

3.6. Разработка энергосберегающей системы извлечения ферромагнитных тел из зерновых материалов

В основу разработки системы заложены результаты выполненных теоретических (разд. 2.2, 2.3) и экспериментальных (разд. 3.5) исследований.

Устройство обнаружения (разд. 3.5.) является составной частью энергоресурсосберегающего устройства извлечения ферромагнитных тел из зерновых материалов. Работая в „ждушем” режиме это устройство позволяет не только экономить электрическую энергию, но и предотвращать аварийные ситуации, даже в случае выхода из строя электромагнита сепаратора.

Дальнейшее описание устройства осуществлялось с учетом требований ГОСТ 15.001-88 к техническим заданиям на изделия, что является обязанностью разработчика.

Название и назначение устройства: Устройство электротехнологическое предназначено для извлечения ФМТ из зерновых материалов, размером $d \geq 3$ мм. Устройство извлечения приводится в действие только при наличии ФМТ.

Область применения устройства: Технологические линии переработки зерновых материалов и других сыпучих.

Состав и принцип работы устройства: Блок питания, устройство формирования управляющих сигналов, блок магнитных пускателей (рис. 3.44, схема эл. принципиальная – приложение Д). В блок технологического оборудования входят: приемный бункер, транспортер зерновых, устройство извлечения (электромагнит сепаратора), устройство удаления ФМТ из рабочей зоны, устройство обнаружения, устройство контроля качества извлечения, промежуточный бункер, устройство обнаружения извлеченных ФМТ, бункер хранения ФМТ.

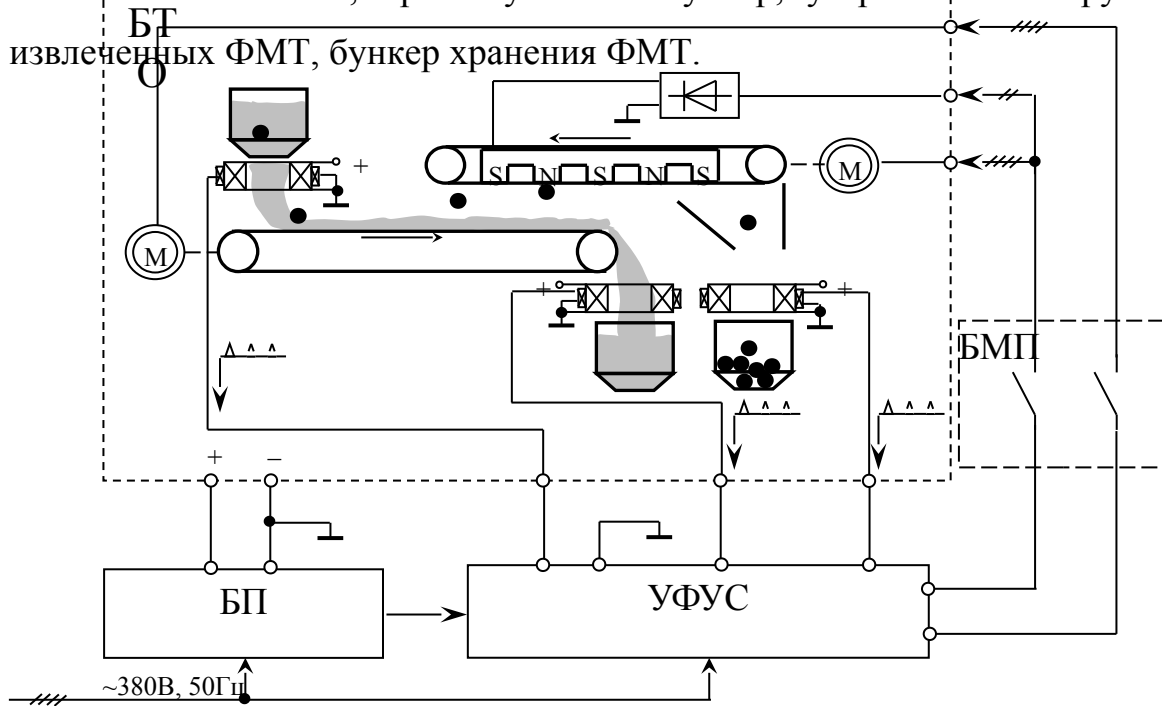


Рис. 3.44. Схема структурная системы извлечения ферромагнитных тел из зерна:

БТО – блок технологического оборудования (устройства обнаружения, контроля качества, счетчик ферромагнитных примесей, транспортеры перемещения зернового материала и удаления извлеченных ферромагнитных тел, электромагнит сепаратора, промежуточный и приемный бункеры); БМП – блок магнитных пускателей; УФУС – устройство формирования управляющих сигналов (входной усилитель, синхронный детектор, коммутирующий блок); БП – блок питания.

В технологическом процессе извлечения зерно, не содержащее ФМТ, проходит через устройство обнаружения, всегда включенное, попадает на транспортер зерновых, перемещается к рабочей зоне устройства извлечения, далее проходит устройство контроля качества, также всегда включенное и попадает в промежуточный бункер.

При попадании ФМТ в поток зерновых происходит его перемещение к устройству обнаружения, которое выдает сигнал на устройство формирования управляющих сигналов (УФУС). В данном случае УФУС управляет работой устройств извлечения и удаления ФМТ из рабочей зо-ны (включает их). Транспортер зерновых перемещает ФМТ к устройству извлечения; происходит извлечение и удаление ФМТ в бункер хранения, через устройство обнаружения удаленных ФМТ, которое выдает сигнал УФУС на отключение устройств извлечения и удаления ФМТ. После этого схема опять переходит в «ждущий режим».

При неизвлечении, из-за недостаточной силы магнитного поля или по другим причинам, ФМТ уносится потоком к промежуточному бункеру, проходя при этом через устройство контроля качества извлечения, которое выдает сигнал УФУС на отключение всей системы и информацию оператору звуковыми и световыми сигналами.

На разработанную систему извлечения ФМТ из зерновых материалов подготовлена техническая документация в объеме, необходимом для принятия решений по проектированию и последующему внедрению в технологические схемы переработки зерновых материалов.

В ы в о д ы

На основе выполненных исследований, результаты которых приведены в разделе 3, можно сделать следующие выводы:

1. На уровне патентов разработаны новые элементы и конструкции электромагнитных сепараторов, которые позволяют экономить электротехнические материалы (уменьшение веса магнитопровода до 30%) и электрическую энергию (уменьшение установленной мощности не менее чем на 1,5 кВт) при извлечении ферромагнитных тел из зерновых материалов за счет вибрации слоя в рабочей зоне - вібромагнітний сепаратор (Пат. 38894 Україна, МПК⁷ B03C 1/08) и нового способа шихтования магнитопровода электромагнита сепаратора - Електромагнітний сепаратор (Пат. 1113 Україна, МПК⁷ B03C 1/02).

2. Отдельные конструкции электромагнитных сепараторов исследованы экспериментально: получены эмпирические зависимости, связывающие электротехнические и технологические параметры (3.5, 3.18).

3. Экспериментально-лабораторными и опытно-промышленными испытаниями подтверждена теоретическая зависимость (2.21) извлечения ферромагнитных тел из зерновых материалов, которые перемещаются ленточными транспортерами. Относительная погрешность теоретической зависимости с экспериментальными данными не превышает 12 %.

4. Установлено, что во всех случаях вид определяющей зависимости экспоненциальный; сила тока в обмотке зависит от положения тела по вертикали по отношению к полюсу; при увеличении расстояния от полюса к телу в 7 раз сила тока в обмотке увеличивается от 4 (для болтов, гаек и шайб) до 5 (для шаров) раз, то есть извлечение тел сферической формы наиболее энергозатратное.

4 РАЗДЕЛ

РЕКОМЕНДАЦИИ ПО ПРИМЕНЕНИЮ ЭЛЕКТРОТЕХНОЛОГИЧЕСКОЙ СИСТЕМЫ ИЗВЛЕЧЕНИЯ ФЕРРОМАГНИТНЫХ ТЕЛ ИЗ ПОТОКОВ ЗЕРНОВЫХ МАТЕРИАЛОВ

4.1 Рекомендации по применению электротехнологической системы извлечения ферромагнитных тел из потоков зерновых материалов

В основу разработки (модернизации) электромагнитных систем для очистки сыпучих сред от ферромагнитных тел заложены обоснованные теоретические и экспериментальные элементы теории и закономерности (см. разд 2, 3) и следующие принципы.

1. Максимальное использование положительных качеств (высокая эффективность работы, технологичность изготовления, надежность и простота эксплуатации) существующих конструкций.

2. Применение энергии в виде магнитного поля в рабочих зонах разрабатываемых устройств осуществлялась таким образом, что силовое воздействие на ферромагнитные тела максимально способствовало повышению эффективности их извлечения, не нарушая при этом структуру потоков зернового материала.

3. В процессе эксплуатации, разрабатываемые устройства не оснащались бы дополнительными приборами контроля, защиты и управления, кроме специальных устройств обнаружения ФМТ.

4. Перечисленные принципы незначительно увеличивают материальные затраты на изготовление и эксплуатацию разрабатываемых конструкций при значительном повышении эффективности их работы, что подтверждено актами внедрения (приложение Е, Ж).

4.2 Расчет экономического эффекта от внедрения устройства извлечения ферромагнитных тел

Расчет предполагаемого экономического эффекта (неточность расчетов обусловлена колебаниями цены единицы продукции в месяц и ремонтно-восстановительных работ, оценка которых зависит от сложности работ и фирмы подрядчика) от внедрения электромагнитного сепаратора на МеМЗ (приложение Ж) проведен по традиционным методикам, применяемым в научно-исследовательской деятельности [3, 19, 77].

Исходные данные:

Время простоя технологического оборудования цехов первичной очистки и экстракции вследствие попадания ферромагнитных тел (ФМТ): от 3 до 96 часов в месяц;

Производительность завода ~ 3,4 т/ч растительного масла;
 Стоимость масла ~ 3,5 грн/л;
 Зарплата подрядчика ~ 400 грн/мес;
 Дополнительные материалы ~ от 1000 до 2000 грн;
 Стоимость базового (разработанного Хорольским
 машстройзаводом) сепаратора 3500грн.

Расчет:

Количество недовыпущенной продукции за время вынужденных простоев в течении месяца, т/мес. :

$$3,4\text{т/ч} \cdot (3 \dots 96 \text{ ч/мес}) = 10,2 \dots 326,4 \text{ т/мес.}$$

Стоимость недовыпущенной продукции, т/мес.:

$$10,2 \dots 326,4 \text{ т/мес} \cdot 3,500 \text{ грн/т} = 35,7 \dots 1142,4 \text{ тыс.грн/мес.}$$

Фонд ремонтных работ по восстановлению оборудования вследствие попадания ФМТ (с учетом заработной платы 4^м подрядчикам за период восстановительных работ):

$$1000 \dots 2000 \text{ грн} + 4 \text{ чел} \cdot (4 \text{ дня} \cdot 18,2 \text{ грн/день}) = 1291,2 \dots 2291,2 \text{ грн.}$$

Снижение затрат на электроэнергию за счет внедрения системы „ждущего” режима работы в цехе первичной переработки составляет ~0,146грн/т.

$$0,146 \text{ грн/т} \cdot 80 \text{ т/сутки} \cdot 30 \text{ суток} = 264 \text{ грн/мес.}$$

Снижение стоимости сепаратора за счет применения „шихтованного” магнитопровода электротехническим картоном составит ~ 700 грн.

Всего фактический экономический эффект от внедрения составит от 37,255 ÷ до 1144,96 тыс.грн/мес.

ВЫВОДЫ

1. В результате выполненных исследований разработаны принципиально новые электромагнитные устройства и усовершенствованы существующие для очистки зерна и зерновых смесей (новизна технических решений защищена 3 –мя патентами Украины).

2. Отдельные конструкции – вибромагнитный (Пат. 38894 Україна, МПК⁷ B03C 1/08) и электромагнитный (Пат. 1113 Україна, МПК⁷ B03C 1/02) сепараторы внедрены (приняты к внедрению) в агропромышленном комплексе:

3. Разработанные узлы и конструкции проверены в производственных условиях. Предложенные технические решения позволили снизить до 30% материалоемкость электромагнитного сепаратора, за счет использования шихтованного магнитопровода и получить снижение затрат на электроэнергию до 0,146 грн/т, за счет внедрения системы «ждущего» режима, что позволит снизить затраты на 4904 грн/год.

Совокупность полученных результатов по применению магнитного поля с целью увеличения степени очистки зерна и зерновых смесей от ферромагнитных тел является одной из решенных научных задач в общей проблеме – повышения качества сырья и продукции в агропромышленном комплексе и рационального использования энергетических и материальных ресурсов.

ОБЩИЕ ВЫВОодЫ И ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Выводы

В диссертационной работе приведено теоретическое обоснование и новое решение научной задачи по совершенствованию устройств извлечения из потоков зерновых материалов ФМТ с определением закономерностей их взаимодействия с магнитным полем с последующим совершенствованием основ теории и разработки метода расчета, который учитывает взаимодействие основных электротехнологических параметров с одновременными элементами ресурсоэнергосбережения.

Представленные в диссертации результаты теоретических и экспериментальных исследований позволяют сделать следующие выводы.

1. Анализ литературных исследований и результатов обследования сельхозпредприятий показали, что существующие устройства и системы извлечения ферромагнитных тел из зерновых материалов малоэффективны (эффективность извлечения не превышает 68-75%), материало- и энергоёмки (масса – до 1500 кг, установленная мощность 3...4,5 кВт), не допускают включения их в общую схему автоматизации поточных линий первичной и глубокой переработки (из-за ручного обслуживания). Поэтому задачи по совершенствованию существующих и разработке новых элементов и устройств извлечения в целом, весьма актуальны.

2. На основании законов и закономерностей механики и электротехники, получена и теоретически обоснована новая зависимость для определения силы тока в обмотке от положения тела в рабочей зоне электромагнита $I=f(Y_p)$ и, как следствие, разработан метод расчета электромагнитных сепараторов для поточных линий по переработке зерновых материалов, который учитывает параметры: технологические – производительность(подача) Q ; электротехнические – питающее напряжение U , мощность P , число витков W и сечение провода обмотки qI ; магнитная восприимчивость χ_T , размагничивающий фактор тела N и геометрические размеры зернового слоя – высота слоя Y_p и магнитопровода (длина $l \times$ ширина $d \times$ высота h). Для конкретного образца: ширина ленты транспортера $B=0,55$ м, производительность кг/с, высота слоя зернового материала $Y_p=28,6$ мм, габариты магнитопровода равны $0,633 \times 0,12 \times 0,36$ м, ширина полюса $a=0,082$ м, межполюсный шаг $s=0,273$ м, при этом количество витков обмотки равно $W=2792$, сила тока $I=3,17$ А, установленная мощность кВт.

3. Для определения основных динамических характеристик ферромагнитных тел в рабочей зоне электромагнита разработана математическая модель их извлечения с поверхности транспортирующего устройства. Варьируя параметрами тел, среды и магнитного поля, и решая задачу многократно определяются как конструктивные, так и электротехнологические параметры процесса и конструкции в целом, что позволяет определить оптимальные условия для проектирования в

частности многополюсных электромагнитных сепараторов. Результаты численного решения системы дифференциальных уравнений, позволили определить зависимость скорости U траектории перемещения по вертикали y и горизонтали x в функции времени t в магнитном поле рабочей зоны сепаратора при изменении различных параметров системы извлечения (размер тел $d = 5 \dots 25$ мм, сила тока в обмотке сепаратора $I = 10 \dots 30$ А и высота подвеса электромагнита над транспортной лентой $Y_p = 58 \dots 77$ мм). При этом время извлечения t не превышает 0,15 с, максимальная скорость извлечения $U = 2,8$ м/с, а перемещение тела по горизонтали x не превышает 30 мм, что позволяет определить размеры рабочей зоны.

4. Разработаны новые элементы и конструкции электромагнитных сепараторов, которые позволяют экономить электротехнические материалы (уменьшение веса магнитопровода до 30%) и электрическую энергию (уменьшение установленной мощности не менее чем на 1,5 кВт) при извлечении ферромагнитных тел из зерновых материалов за счет вибрации слоя в рабочей зоне и нового способа шихтовки магнитопровода электромагнита сепаратора.

5. Экспериментально-лабораторными и опытно-промышленными испытаниями подтверждены теоретические зависимости извлечения ферромагнитных тел из зерновых материалов, которые перемещаются ленточными транспортерами. Установлено, что во всех случаях вид определяющей зависимости экспоненциальный; сила тока в обмотке зависит от положения тела по вертикали по отношению к полюсу; при увеличении расстояния от полюса до тела в 7 раз сила тока в обмотке увеличивается от 4 (для болтов, гаек и шайб) до 5 (для шаров) раз, то есть извлечение тел сферической формы наиболее энергозатратное; относительная погрешность теоретической зависимости с экспериментальными данными не превышает 12 %.

6. Разработанные узлы и конструкции были проверены в производственных условиях. Предложенные технические решения позволили снизить до 30% материалоемкость электромагнитного сепаратора, за счет использования шихтовки магнитопровода и получить снижение затрат на электроэнергию до 0,146 грн/т, за счет внедрения системы «ждущего» режима, что позволит снизить затраты на 4904 грн/год.

Заключение

Результаты анализа существующей информации по электромагнитным (магнитным) сепараторам, применяемых в сельскохозяйственном производстве, выполненные конструкторские разработки, проведенные теоретические (математическое моделирование динамики ферромагнитных тел в магнитном поле сепараторов) и экспериментальные (лабораторные и опытно-промышленные)

исследования, позволили разработать энергосберегающие электротехнологические устройства для извлечения ферромагнитных тел из зерновых материалов.

После соответствующей проектной проработки, изготовления в заводских условиях опытного образца и предусмотренных нормативными документами испытаний это устройство рекомендуется для широкого применения в поточных технологических линиях первичной и глубокой переработки зерновых материалов.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННОЙ ЛИТЕРАТУРЫ

1. Акулов Н.С. Ферромагнетизм. – Л.: Техтеоретиздат, 1939. – 384 с.
2. Артеменко М.Ф. Новый этап совершенствования технологического процесса комбикормовой индустрии в АПК Украины // Хранение и переработка зерна. – 2001. – №6. – С. 56-59.
3. Артимович П.В. Автоматизация производственных процессов на хлебоприемных и зерноперерабатывающих предприятиях. – М.: Колос, 1973. – 232 с.
4. Архангородский Л.А. Монтаж и наладка оборудование элеваторов, зерноперерабатывающих и комбикормовых предприятий. – М.: Стройиздат, 1974. – 190 с.
5. Бабич М.Б. Технологические особенности производства зерновых хлопьев // Хранение и переработка зерна. – 2001. – №6. – С.50-51.
6. Баев Е.Ф. Индуктивные элементы с ферромагнитными сердечниками – М.: Агропромиздат, 1988. – 480с.
7. Барабан магнитного сепаратора: А.с. 1036387 СССР, МПК⁴ В03С 1/10 / Власов В.Н., Губаревич В.Н., Кравченко Н.Д. (СССР). – № 3322021/22-03 ; Заявлено 20.07.1981; Опубл. 23.08.1983; Бюл. № 31. – 4 с.
8. Барьяхтар В.Г., Иванов Б. А. В мире магнитных доменов. – К.: Наукова думка, 1986. – 160 с.
9. Батенко А.П. Типовая реконструкция комбикормовых цехов на птицефабриках // Хранение и переработка зерна. – 2002. – №11. – С.43-44.
10. Беркутова Н.С. Методы оценки и формирование качества зерна. – М.: Росагропромиздат, 1991.– 203 с.
11. Богатирьев Ю.О., Хассай Д.В., Кудрявцев О.В. До розробки пристрою виявлення феромагнітних домішок у сипучих матеріалах // Праці Таврійської державної агротехнічної академії. - Вип. 1. - Мелітополь: ТДАТА. - 2002. – С. 56-61.
12. Бутковский В.А. Технология мукомольного, крупяного и комбикормового производства. – М.: Колос, 1981. – 256с.
13. Бутковский В.А., Мельников Е.М. Технология мукомольного, крупяного и комбикормового производства (с основами экологии). – М.: Агропромиздат, 1989. – 464с.
14. Бэрк Г.Ю. Справочное пособие по магнитным явлениям: Пер. с англ.-М.: Энергоатомиздат, 1991.-384с.
15. Великанов К.М., Власов В.Ф., Карандашова К.С. Экономика и организация производства в дипломных проектах. Учебн. Пособие для вузов. Изд. 2-е, перераб. и доп. – Л.: «Машиностроение», 1973. – 256 с.
16. Вибромагнитный сепаратор: А.с. 545383 СССР, МКИ В03С 1/08 /Капустин Е.А., Просвирнин В.И., Корт Т.Г., Зыков В.Г., Садовский Г.М., Юренко А.С. (СССР). - №2157471/03; Заявлено 18.07.1975; Опубл. 05.02.1977; Бюл. №5. – 4с.
17. Вонсовский С.В. Магнетизм. – М.: Наука, 1984. –208 с.

18. Вонсовский С.В. Современное учение о магнетизме. –М.: ГИТТЛ. 1952. – 360 с.
19. Временная методика определения экономической эффективности автоматизированных систем управления предприятиями. – М.: Экономика, 1973. – 31 с.
20. Галицкий Р.Р. Оборудование зерноперерабатывающих предприятий. – М.: Колос, 1982. – 288с.
21. Гальперин Н.И., Айнштейн В.Г. Псевдосжижение.–М.: Знание, 1968.– 63 с.
22. Горжинский В.В. Процессы сепарирования на зерноперерабатывающих предприятиях. – М.: Колос, 1980. – 304 с.
23. Гросул Л. Гречані крупи – на малогабаритних агрегатах і за компактою технологією // Зерно і хліб. – 2000. - №2. – С.49.
24. Гросул Л.Г., Поляков В.Я. Малогабаритна агрегатна установка для реалізації компактного технологічного процесу переробки зерна в крупі // Хранение и переработка зерна. – 2002. - №1. – С.43-45.
25. Деркач В.Г. Специальные методы обогащения полезных ископаемых.– М.: Недра, 1966. - 375 с.
26. Дзевецкий К., Лемацкий В. Высокопроизводительная линия очистки зерна // Хранение и переработка зерна. – 2001. - №8. - С. 43-44.
27. Дидур В.А., Просвирнин В.И. Модели и моделирование как основа создания технических средств в АПК // Моделирование процессов и технологического оборудования в сел. хоз-ве: Мат. докл. Междунар. науч.-практ. конф. 17-19 августа 1994г. – Том 1. - Мелитополь. – 1994. – С. 4-7.
28. Егоров Б., Ковальчук С., Воецька О. Спеціальні комбікорма // Зерно і хліб. – 1999. - №2. - С. 33-34.
29. Егоров Г.Е. Технология и оборудование мукомольно-крупяного и комбикормового производства. – М.: Колос, 1979. – 368 с.
30. Ермолин Н.П. Расчет трансформаторов малой мощности. – Г.: Энергия, 1969. – 192с.
31. Железоотделитель: А.с. 994010 СССР, МПК³ В03С 1/26 / Лапицкий В.Н., Бабец В.В. (СССР). - №3343244/22-03; Заявлено 27.07.1981; Опубл. 07.02.1983; Бюл. № 5. –3 с.
32. Жислин Я.М. Выработка муки и крупы в сельскохозяйственном мукомолье. – М.: Колос, 1969. – 160 с.
33. Золотарев С.М. Проектирование мукомольных, крупяных и комбикормовых заводов – М.: Колос, 1976. – 287 с.
34. Зюлин А.Н. Новое в очистке зерна при закладке на хранение // Хранение и переработка зерна. – 1999. - №6. - С. 21-23.
35. Каминский В.Д., Бабич Н.Б. Повышение эффективности подготовки зерна к переработке в муку и крупу // Хранение и переработка зерна. – 2001. - №4. - С. 30-32.
36. Капустин Е.А., Кулаков А.М., Шарапов К.А., Просвирнин В.И. Исследование процесса осаждения пыли железного порошка под

- действием магнитного поля // Очистка водного и воздушного бассейнов на предприятиях черной металлургии. – Вып. 1. – М.: Институт стали и сплавов. – 1972. – С. 105-107.
37. Капустин Е.А., Просвирнин В.И., Буторина И.В. Динамические характеристики виброкипящего слоя // Теоретические основы химической технологии. – Вып. 5, Т. XIV. М: АН СССР. – 1980. – С. 720-727.
 38. Капустин Е.А., Просвирнин В.И., Зыков В.Г., Корт Т.Г. Особенности и пути совершенствования сухой магнитной сепарации железосодержащих материалов // Перспективы развития магнитной сепарации для обогащения полезных ископаемых. – Свердловск: Урал. мех. обр. – 1976. – С. 29-31.
 39. Кармазин В.И. Современные методы обогащения руд черных металлов. – М.: Гостехиздат, 1962. – 659 с.
 40. Коган Б.М., Тер-Микаэлян Т.М. Решения инженерных задач на цифровых вычислительных машинах. – М.-Л.: «Энергия», 1964. – 592 с.
 41. Константинов В.Е. Магнитные измерения – М.: Энергоатомиздат, 1981, – 230 с.
 42. Константинов О.Я. Расчет и конструирование магнитных и электромагнитных приспособлений. – Л.: Машиностроение, 1967. – 314 с.
 43. Круг К.А. Основы электротехники. – Л.: Госэнергоиздат, 1966. – 472 с.
 44. Кучер М., Гончаренко О. Закон про зерно. Формуємо цивілізований ринок // Хранение и переработка зерна. – 2001. – №3. – С. 4-5.
 45. Латуш И.И. О техническом оснащении отрасли хлебопечения // Хранение и переработка зерна. – 2001. – №6. – С. 51-53.
 46. Лопатін Г., Бойченко К., Головченко В. Структурати із зернових і бобових культур // Зерно і хліб. – 2001. – №3. – С. 23-24.
 47. Магнитный пылеуловитель: А.с. 1018688А СССР, МКИ В010 35/06 /Капустин Е.А., Просвирнин В.И., Зыков В.И., Держинская Л.Е., Корт Т. Г. (СССР). – №3387226/23-26; Заявлено 28.01.1982; Оpubл. 23.05.1983; Бюл. №19. – 4 с.
 48. Магнитный сепаратор: А.с. 1058614 СССР, МПК⁴ В03С 1/10 / Каргин Г. И., Крюков Д.К. (СССР). – №3404511/22-03; Заявлено 03.03.1982; Оpubл. 7.12.1983; Бюл. № 45. – 4 с.
 49. Магнитный сепаратор: А.с. 1042805 СССР, МПК⁴ В03С 1/02 / Благодатный В.М., Дьяков Г.И., Бахмут Н.С., Невпряга В.А. (СССР). – №3432064/22-03; Заявлено 04.05.1982; Оpubл. 23.09.1983; Бюл. № 35. – 3 с.
 50. Магнитный сепаратор: А.с. 1050745 СССР, МПК⁴ В03С 1/10 / Бикбов А. А., Комлев А.М., Буров Г.Ф., Синицын Е.В., Одинцова Т.В. (СССР). – № 3470034/22-03; Заявлено 19.04.1982; Оpubл. 30.10.1983; Бюл. № 40. – 4 с.
 51. Магнитный сепаратор: А.с. 569324 СССР, МКИ В03С 1/02, В03С 1/08 / Капустин Е.А., Просвирнин В.И., Пелевин В.А., Зыков В.Г., Корт Т.Г., Зеленов П.И., Ляхов В.П. (СССР). – №2093391/03; Заявлено 03.01.1975; Оpubл. 25.08.1977; Бюл. №5. – 4 с

52. Макушев П.Г. Разработка и исследование электромагнитного сепаратора для очистки стебельчатых кормов от ферромагнитных включений: дисс. канд-та техн. наук: 05.20.02: Московский институт инженеров сельского хоз-ва. – Москва, 1982. – 180л.
53. Масюткин Е.П., Хассай Д.В., Кузнецов И.О., Богатырев Ю.О. Совершенствование технологии и оборудования извлечения магнитных примесей из потоков зерновых материалов // Праці Таврійської державної агротехнічної ака демії. - Вип. 31. - Мелітополь: ТДАТА. - 2005. – С. 53-61.
54. Машков Б.М. Справочник по качеству зерна и продуктов его переработки. – М.: Колос, 1971. – 352с.
55. Мельников Е.М. Технология крупяного производства. – М.: Агропромиздат, 1991. – 207 с.
56. Механизация послеуборочной обработки и хранения зерна и семян / М.С. Кулагин и др. – М.: Колос, 1979. – 256 с.
57. Паламарчук А.І. Господарсько-біологічна характеристика сортів твердої озимої пшениці та особливості її вирощування в степовій зоні України // Хранение и переработка зерна. – 2000. - №2. - С.9-12.
58. Парсел Э. Электричество и магнетизм : Пер. с англ. – М.: Наука, 1971. – 448 с.
59. Пат. 1113 Україна, МПК⁷ B03C 1/02. Електромагнітний сепаратор / Просвірнін В.І., Хассай Д.В., Кузнецов І.О. (Україна). - № 2001031637; Заявл. 12.03.2001; Опубл. 17.12.2001; Бюл. № 11. – 4 с.
60. Пат. 38894 Україна, МПК⁷ B03C 1/08. Вібромагнітний сепаратор / Просвірнін В.І., Хассай Д.В., Кузнецов І.О. (Україна). – №2000116546; Заявл. 21.11.2000; Опубл. 15.05.2001; Бюл. № 4. – 3 с.
61. Пат. 48528А Україна, МПК⁷ B03C 1/02. Електромагнітний сепаратор / Просвірнін В.І., Хассай Д.В., Кузнецов І.О. (Україна). - № 2001096583; Заявл. 26.09.2001; Опубл. 15.08.2002; Бюл. № 8. – 4 с.
62. Подвесной электромагнитный железоотделитель: А.с. 1036386 СССР, МПК⁴ B03C 1/08 / Карташян В.О., Алферов Г.Н., Пожарский В.Д., Кузнецов Н.И. (СССР). - № 3365442/22-03; Заявлено 17.12.1981; Опубл. 23.08.1983; Бюл. № 31. – 3 с.
63. Подвесной электромагнитный железоотделитель: А.с. 1063463 СССР, МПК⁴ B03C 1/08 / Карташян В.О. (СССР). - № 3458478/22-03; Заявлено 19.04.1982; Опубл. 30.12.1983; Бюл. № 48. – 2 с.
64. Поливанов К.М. Теоретические основы электротехники. – М.: Энергия, 1975. – т.3. – 203с.
65. Поливанов К.М. Ферромагнетики. – Л.: Госэнергоиздат, 1957. – 256 с.
66. Поливанов К.М., Левитан С.А. Об одной задаче расчета вращающегося магнитного поля // Электротехника, 1966, №12, С. 5-12.
67. Просвирнин В.И. Математическое моделирование динамики частиц в очистных устройствах с силовыми полями электрической природы // Матер. докл. Международ. научн-практ. конф. «Моделирование процессов и технологического оборудования в сел. хоз-ве». – Том 1. –

- Мелітополь: ТДАТА. - 1994. - С.52-53.
68. Просвірнін В.І. Теоретическое и експериментальное обоснование кинетик процессов и параметров электромагнитных устройств очистки железосодержащих дисперсных сред в агропромышленном комплексе: Автореф. дис. д-ра техн. наук: 05.20.02 / С.-Петербургский аграрный ун-т, С.-Петербург, 1992. - 39 с.
 69. Просвірнін В.І., Шарапов К.А. Поведение ферромагнитной частицы в магнитном поле // Прикл. магнитодинамика. - Вып. 1. – Севастополь: Приборостроительный институт. – 1968. - С. 46-55.
 70. Просвірнін В.І., Хассай Д.В., Кузнецов І.О. Аналіз електротехнологічних систем витягу феромагнітних тіл з зерна та зернових сумішей // Праці Таврійської державної агротехнічної академії. - Вип. 1, Т.17. - Мелітополь: ТДАТА. - 2000. - С. 3-8.
 71. Просвірнін В.І., Хассай Д.В., Митрофанов Є.А. Дослідження магнітного поля електромагнітних сепараторів і залізовіддільників // Праці Таврійської державної агротехнічної академії. - Вип. 1, Т.19. - Мелітополь: ТДАТА. - 2001. - С. 4–7.
 72. Пумпянский А.Я. Технологические свойства мягкой пшеницы (по данным миров. коллекц.). – Л.: Колос, 1971. – 320 с.
 73. Рабочая пластина полиградиентного магнитного сепаратора: А.с. 1044333 СССР, МПК⁴ В03С 1/00 / Усачев П.А., Кармазин В.И., Кармазин В.В., Опалев А.С. (СССР). - №3400503/22-03; Заявлено 18.02.1982; Опубл. 30.09.1983; Бюл. № 36. – 4 с.
 74. Рыженко А.С., Гусев М.В., Свирид Е.Е. Автоматизированная система управления технологическим процессом на мукомольном заводе // Хранение и переработка зерна. – 2001. -№3. - С.46-49.
 75. Сборник зоотехнических и агротехнических требований на комплекты машин и оборудование для механизации, электрификации, автоматизации животноводческих, птицеводческих ферм и комплексов / ВИЭСХ. - Вып. 10, – М: ВИЭСХ, 1981. – 153с.
 76. Сепаратор для выделения металломагнитных примесей из сыпучего материала: А.с. 1045934 СССР, МПК⁴ В03С 1/02 / Васильев П.Н., Твердохлебов П.В., Мищук Е.Д., Файнер В.П. (СССР). - №3455156/22-03; Заявлено 13.04.1982; Опубл. 24.08.1983; Бюл. № 37. – 3 с.
 77. Смирницкий Е.К. Экономические показатели промышленности. – М.: Экономика, 1974. – 381 с.
 78. Соколов А.Я. Технологическое оборудование предприятий по хранению и переработке зерна. – М.: Колос, 1975. – 272 с.
 79. Сочнев А.Я. Теоретическое определение напряженности магнитного поля, создаваемого многополюсной электромагнитной системой // Журн. тех. физ. - 1936. – Вып. 3, Т.6. – С. 14-18.
 80. Способ магнитной сепарации: А.с. 1044334 СССР, МПК⁴ В03С 1/24 / Тамбовцев Ю.И. (СССР). - № 3292987/22-03; Заявлено 20.02.1981; Опубл. 30.09.1983; Бюл. № 36. – 3 с.

81. Станкевич Г.Н., Гаро В.Е., Гросул Л.И. Универсальные комплексы для хранения и переработки зерна и маслосемян // Хранение и переработка зерна. – 2002. - №12. – С.34-35.
82. Сыроватка В.И., Алябьев Е.В. Прогрессивные способы приготовления и хранения кормов. – М.: Колос, 1970. – 224 с.
83. Тюрина В.В. Методические разработки к проведению практических занятий по курсу «Организация и планирование машиностроительных предприятий». – Жданов.: Ждановский металлургический институт, 1971 . – 52 с.
84. Умич О.Л. Агробіологічні властивості нових сортів пшениці озимої. // Вісник аграрної науки. – Вип. 7. - Киев: УААН. – 2001. – С. 23-26.
85. Фейман Р., Лейтон Р., Сэндс М. Феймановские лекции по физике. – М.: Мир, 1977. –304 с.
86. Филин В.М., Филин Д.В., Филин М.В. Новое в технологии переработки гороха // Хранение и переработка зерна. – 2002. - №3. – С.49-53.
87. Фильтр: А.с. 623377 СССР, МКИ³ В01 35/06. /М.Л.Варламов, В.И. Просвирнин, Е.А.Капустин и др. (СССР). - № 249345; Заявл. 08.06.1977 ; Оpubл. 15.11.1978; Бюл. №42. – 3 с.
88. Фукс Н.А. Механика аэрозолей. – М.: АН СССР, 1955. – 352 с.
89. Фукс Н.А. Успехи механики аэрозолей. – М.: АН СССР, 1961.
90. Хассай Д.В. До розрахунку електромагнітних залізовіддільників для технологічних ліній // Праці Таврійської державної агротехнічної академії. – Вип. 1, Т.15. – Мелітополь: ТДАТА. - 2000. – С.154 – 157.
91. Хассай Д.В. До технології вилучення феромагнітних тіл із сипких матеріалів // Праці Таврійської державної агротехнічної академії. - Вип. 1, Т.11. - Мелітополь: ТДАТА. - 1999. – С.69-72.
92. Хассай Д.В. Математичне моделювання вилучення феромагнітних домішок із зерна та зернових сумішей // Праці Таврійської державної агротехнічної академії. - Вип. 1, Т.24. - Мелітополь: ТДАТА. - 2001.– С. 91-96.
93. Хассай Д.В., Богатырев Ю.О., Просвирнин В.И. Расчет электромагнитных сепараторов // Праці Таврійської державної агротехнічної академії. - Вип. 24. - Мелітополь: ТДАТА. - 2004. – С. 65-75.
94. Хассай Д.В., Кузнецов И.О., Гулевский В.Б. К вопросу совершенствования электротехнологических систем извлечения ферромагнитных тел из сыпучих материалов // Праці Таврійської державної агротехнічної академії. - Вип. 1. - Мелітополь: ТДАТА. - 2002 . – С. 61 –64.
95. Хассай Д.В., Кузнецов И.О., Просвирнин В.И. Алгоритм разработки электротехнических систем извлечения ферромагнитных тел из зерна и зерновых смесей // Вісник Харківського державного технічного університету сільського господарства. - Вип. 3. - Харків: „Стас”. - 2000. - С. 114-116.

96. Хассай Д.В., Кузнецов И.О., Просвирнин В.И. Особенности расчета электротехнических систем извлечения ферромагнитных тел из зерна и зерновых смесей // Вісник Харківського державного технічного університету сільського господарства. – Вип. 3. – Харків: „Стас”. - 2000. - С. 77-80.
97. Хассай Д.В., Просвирнин В.И., Кузнецов И.О. Математическое моделирование извлечения ферромагнитных примесей из продуктов первичной и глубокой переработки зерновых // Зб. наук. пр. (Матеріали науково – практичної конференції „Інформаційні технології в освіті” (16 – 18 травня)). – Бердянськ: БДПІ. - 2001. – С. 68 – 73.
98. Хассай Д.В., Просвирнин В.И., Кузнецов И.О. Энергозберігаючі режими роботи електротехнологічних систем витягу феромагнітних домішок // Праці Таврійської державної агротехнічної академії. - Вип. 1, Т.18. - Мелітополь: ТДАТА. - 2000. - С. 6-7.
99. Цециновский В.М., Птушкина Г.Е. Технологическое оборудование зерноперерабатывающих предприятий. – М.: Колос, 1976. – 298 с.
100. Циборовский Я. Основы процессов химической технологии: Пер. с польск. – Л.: Химия, 1967. – 719 с.
101. Циков В.С. Послеуборочная обработка, хранение зерна и семян кукурузы // Хранение и переработка зерна. –2000. - № 8. - С. 25-27.
102. Чернилов Л.О. Оборудование элеваторов, складов и зерноперерабатывающих предприятий. Ч.1. – М.: Колос, 1966. – 315 с.
103. Чертов А.Г. Международная система измерения. – М.: Высшая школа, 1967. – 167 с.
104. Чечурина Е. Н. Приборы для измерения магнитных величин. - М.: Энергия, 1969. - 168с.
105. Чиркова Л.В. О методах и средствах очистки зернопродуктов от ферропримесей // Труды ВНИИЗ. – Вып. 57. – М.: ВНИИЗ. – 1967. – С. 35 -38.
106. Шарапов К.А., Просвирнин В.И., Варламов М.Л. Исследование процесса коагуляции гидрозоля в магнитном поле // Тезисы докладов УШ всесоюзной научной конференции по технологии неорганических веществ и минеральных удобрений. – Одесса: Одесс. гос. университет. - 1972. - С.172-173.
107. Шарапов К.А., Просвирнин В.И., Воротников Г.Н., Померанцев В.Н. Анализ магнитных систем фильтров // Прикл. магнитодинамика. - Вып. 1.- Севастополь: Севастоп. приборостроит. ин-т. – 1968. - С.56-70.
108. Шарапов К.А., Просвирнин В.И., Измоденов Ю.А. Динамика поведения ферромагнитных частиц в магнитных полях // Восьмая межвузовская конференция по вопросам испарения, горения и газовой динамики дисперсных систем. - Одесса: Одесс. гос. Университет. - 1968. - С.24-25.
109. Шкив электромагнитного сепаратора: А.с. 1039569 СССР, МПК⁴ В03С 1/10 / Загирняк М.В., Невзлин Б.И. (СССР). - № 3445204/22-03; Заявлено 28.05.1982; Оpubл. 07.09.1983; Бюл. № 33. – 2 с.

110. Электродинамически сепаратор: А.с. 1169746 СССР, МПК⁴ В03С 1/02 / Лапицкий В.Н., Бабец В.В. (СССР). - № 2965255/22-03; Заявлено 22.07.1980; Опубл. 30.07.1985; Бюл. №28. – 3 с.
111. Электромагнитный барабанный сепаратор: А.с. 1033208 СССР, МПК⁴ В03С 1/10 / Смолкин Р.Д., Кравченко Н.Д., Губаревич В.Н. (СССР). - № 3279231/22-03; Заявлено 09.04.1981; Опубл. 07.08.1983; Бюл. № 29. – 3 с.
112. Электромагнитный железоотделитель: А.с. 1041152 СССР, МПК⁴ В03С 1/10 / Смолкин Р.Д., Крахмаль В.П., Шапиро Е.Я., Гарин Ю.М., Губаревич В.Н. (СССР). - № 3417742/22-03; Заявлено 06.04.1982; Опубл. 15.09.1983; Бюл. № 34. – 2 с.
113. Электромагнитный сепаратор: А.с. 1050746 СССР, МПК⁴ В03С 1/02 / Кравченко Н.Д., Губаревич В.А. (СССР). - № 3323907/22-03; Заявлено 09.07.1981; Опубл. 30.10.1983; Бюл. № 40. – 3 с.
114. Электромагнитный сепаратор: А.с. 1061842 СССР, МПК⁴ В03С 1/02 / Довганюк В.Д., Сандуляк А.В., Гайдис И.Й., Иванаускас А.Ю. (СССР). - №34 83284/22-03; Заявлено 12.08.1982; Опубл. 23.12.1983; Бюл. № 47. – 3 с.
115. Электромагнитный сепаратор: А.с. 1021476 СССР, МПК⁴ В03С 1/02 / Егоров Н.Ф., Азбель Ю.А., Воликов Г.Н., Галевская Т.Н., Гашев В.Г. (СССР). - № 3372618/22-03; Заявлено 28.08.1981; Опубл. 22.04.1983; Бюл. № 21. – 3 с.
116. Электромагнитный сепаратор: А.с. 1022740 СССР, МПК⁴ В03С 1/30 / Егоров Н.Ф., Азбель Ю.А., Воликов Г.Н., Галевская Т.Н., Гашев В.Г. (СССР). - № 3385274/22-03; Заявлено 04.12.1981; Опубл. 05.05.1983; Бюл. № 22. – 2 с.
117. Электромагнитный сепаратор: А.с. 1026829 СССР, МПК⁴ В03С 1/04 / Гладков С.А. (СССР). - № 3408943/22-03; Заявлено 15.03.1982; Опубл. 07.08.1983; Бюл. № 25. – 4 с.
118. Электромагнитный сепаратор: А.с. 1033206 СССР, МПК⁴ В03С 1/02 / Притуляк Л.Г., Федоренко Н.В. (СССР). - № 3272581/22-03; Заявлено 09.04.1983; Опубл. 07.08.1983; Бюл. № 29. – 3 с.
119. Ялпачик Ф.Е. Защита измельчающих аппаратов (от металлических предметов) // Техника в сельском хозяйстве. – 1985. – №1. – С. 11-13.
120. <http://www.ikar.ru/1999/sbr-ag/sb-zern/zern-sbr/1.htm>
121. <http://www.minagro.kiev.ua/stat/analitic/korma/index>.
122. www.arktika.ru
123. www.automatica.elcom.ru
124. www.automatica.kz
125. www.averon.ru
126. www.avt.com.ru
127. www.avtin.ru
128. www.avtomatika.ru
129. www.booksite.ru
130. www.elvisti.kiev.ua
131. www.in-centre.ru

- 132. www.infomag.mipt.rssi.ru
- 133. www.npoa.sky.ru
- 134. www.npprts.com.ua

П Р И Л О Ж Е Н И Е А



УКРАЇНА

(19) (UA)

(11) 38894 A

(51) 7 B03C1/08

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І
НАУКИ УКРАЇНИ

ДЕРЖАВНИЙ ДЕПАРТАМЕНТ
ІНТЕЛЕКТУАЛЬНОЇ
ВЛАСНОСТІ

Деклараційний патент на винахід

зареєстровано відповідно до Закону України
"Про охорону прав на винаходи і корисні моделі" від 15 грудня 1993 року № 3887-III
у редакції від 1 червня 2000 року № 1771-III



Голова Департаменту

(21) 2000116546

(22) 21.11.2000

(24) 15.05.2001

(46) 15.05.2001. Бюл. № 4

(72) Просвірнін Віктор Іванович, Хассай Дмитро Віталійович, Кузнецов Ілля Олегович

(73) Таврійська державна агротехнічна академія

(54) ВІБРОМАГНІТНИЙ СЕПАРАТОР



УКРАЇНА

(19) UA (11) 38894 (13) A

(51) 7 B03C1/08

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ
І НАУКИ УКРАЇНИДЕРЖАВНИЙ ДЕПАРТАМЕНТ
ІНТЕЛЕКТУАЛЬНОЇ
ВЛАСНОСТІ

ОПИС

ДО ДЕКЛАРАЦІЙНОГО ПАТЕНТУ
НА ВИНАХІДвидається під
відповідальність
власника
патенту

(54) ВІБРОМАГНІТНИЙ СЕПАРАТОР

(21) 2000116546

(22) 21.11.2000

(24) 15.05.2001

(33) UA

(46) 15.05.2001, Бюл. № 4, 2001 р.

(72) Просвірін Віктор Іванович, Хассай Дмитро Віталійович, Кузнєцов Ілля Олегович

(73) Таврійська державна агротехнічна академія

(57) 1. Віброелектромагнітний сепаратор, який містить вібратор, систему електромагнітів з полюсами полярності, яка чергується, пристрої транспортування вихідного матеріалу та феромагнітних тіл, приймальні бункери для продуктів розподілу, який

відрізняється тим, що вібратор виконаний у вигляді роликів із сегментами, привід яких здійснюється від транспортерної стрічки вихідного матеріалу, причому сегменти на парних роликах розташовані через третину окружності, а на непарних – через чверть.

2. Вібромагнітний сепаратор за п. 1, який відрізняється тим, що парні ролики встановлені під полюсами електромагнітів, а непарні – між полюсами.

3. Вібромагнітний сепаратор за п. 1, який відрізняється тим, що сегменти виконані радіусом, який дорівнює одній дванадцятій радіуса ролика ($R_c=1/12 R_p$).

Винахід, який належить до галузі сільського господарства, призначено для очищення сипучих матеріалів від феромагнітних тіл, наприклад, зерна та зернових сумішей, які використовуються в кормоприготуванні та харчових галузях народного господарства.

Відомий вібромагнітний сепаратор, який містить вібратор, систему електромагнітів, пристрій для завантаження магнітних часток та транспортування магнітних часток, приймальний бункер для продуктів розподілу, вібратори (Кармазин В.И. Современные методы магнитного обогащения руд черных металлов. - М.: Госгортехиздат, 1962. - С. 388).

Недоліком даного пристрою є низька ефективність процесу сепарації, пов'язана зі швидким утворенням флокул, які при переміщенні до полюсів магнітів тягнуть за собою велику кількість немагнітних часток.

Найбільш близьким технічним рішенням, вибраним як прототип, є вібромагнітний сепаратор, який містить вібратор, систему електромагнітів з полюсами, пристрій для завантаження вихідного матеріалу й транспортування магнітних часток, приймальні бункери для продуктів розподілу, вібратори, що забезпечують вібрацію сипучого матеріалу з різною частотою під та поміж полюсами електромагніту (А.С. СССР № 545383 МПК6 B03C/08, 1977).

Однак, цей пристрій має більшу енергоємність через наявність 3 приводів – вібраторів та 2 секцій, а також неможливість застосування в техноло-

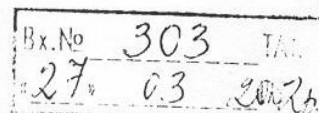
гії переробки зерна через несполучуваність зі стрічковим транспортером.

В основу винаходу покладено завдання створення вібромагнітного сепаратора, в якому вібрація здійснюється блоком роликів із сегментами, встановленим під транспортерною стрічкою, що викликає спливання феромагнітних тіл на поверхню, за рахунок чого підвищується ефективність їх вилучення і відповідно покращується чистота зернового матеріалу.

Віброелектромагнітний сепаратор містить вібратор, систему електромагнітів з полюсами полярності, яка чергується, пристрої транспортування вихідного матеріалу та феромагнітних тіл, приймальні бункери для продуктів розподілу. Відповідно до винаходу вібратор виконаний у вигляді роликів із сегментами, привод яких здійснюється від транспортерної стрічки вихідного матеріалу, причому сегменти на парних роликах розташовані через третину окружності, а на непарних – через чверть; згідно з винаходом парні ролики встановлені під полюсами електромагнітів, а непарні – між полюсами. Сегменти виконані радіусом, який дорівнює одній дванадцятій радіуса ролика. Усе це сприяє вібрації маси з різною частотою.

Таким чином, застосування вібратора даної конструкції забезпечить руйнування зв'язків між частками матеріалу, тим самим знижується "удавана в'язкість", а отже й сили тертя, дозволяючи повністю вилучити феромагнітні домішки із зернових мас.

(19) UA (11) 38894 (13) A



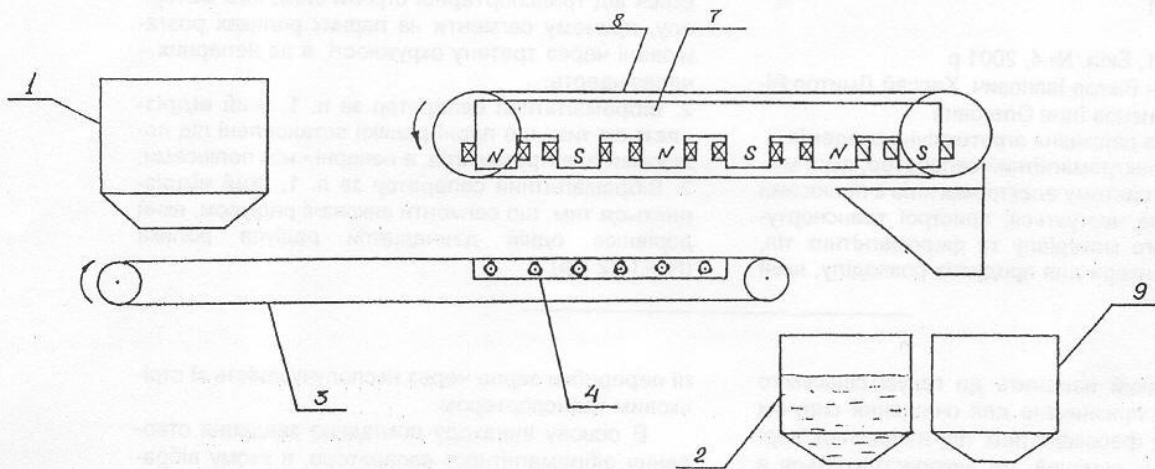
На фіг. 1 зображено схему функціонування технологічного процесу вилучення феромагнітних тіл із сипучих матеріалів.

На фіг. 2 зображено фрагмент непарних роликів із сегментами.

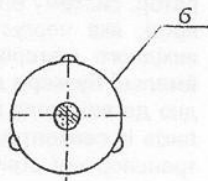
На фіг. 3 зображено фрагмент парних роликів із сегментами.

Віброелектромагнітний сепаратор складається з: бункера вихідного 1 та очищеного 2 сипучого матеріалу, розташованих над і під (відповідно) транспортерної стрічки 3, блоку роликів 4 з парною 5 та непарною 6 кількістю сегментів, встановленого над електромагнітною системою 7, транспортерної стрічки 8, розташованої над блоком роликів 4 та бункера феромагнітних тіл 9, закріпленого над транспортером 8.

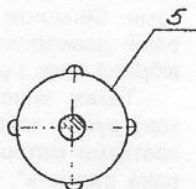
Пристрій працює таким чином. Маса сипучого матеріалу, наприклад, зернової суміші з феромагнітними домішками, надходить з вихідного бункера 1 на транспортер 3. Рухаючись зі стрічкою транспортера 3, маса надходить на ділянку блока роликів із сегментами 4, де відбувається "кипіння" сипучого матеріалу під дією парних 5 та непарних 6 роликів із сегментами, викликаючи "спливання" феромагнітних тіл на поверхню. Під дією сил електромагнітного поля, створеного системою електромагнітів 7, феромагнітні домішки притягуються до транспортера 8, який, обертаючись за рухом сепарованого матеріалу, тягне магнітні частки до приймального бункера 9. Очищена зернова маса надходить у бункер очищеного сипучого матеріалу 2.



Фіг. 1



Фіг. 2



Фіг. 3

П Р И Л О Ж Е Н И Е Б



УКРАЇНА

(19) (UA)

(11) 1113

(51) 7 B03C1/02

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І
НАУКИ УКРАЇНИ

ДЕРЖАВНИЙ ДЕПАРТАМЕНТ
ІНТЕЛЕКТУАЛЬНОЇ
ВЛАСНОСТІ

Деклараційний патент на корисну модель

видано відповідно до Закону України
"Про охорону прав на винаходи і корисні моделі"

Голова Державного департаменту
інтелектуальної власності



М. Паладій

(21) 2001031637

(22) 12.03.2001

(24) 17.12.2001

(46) 17.12.2001 Бюл. № 11

(72) Просвірнін Віктор Іванович, Хассай Дмитро Віталійович, Кузнецов Ілля Олегович

(73) Таврійська державна агротехнічна академія

(54) ЕЛЕКТРОМАГНІТНИЙ СЕПАРАТОР

4 /21/ 2001031634

154/

157/

ПАТЕНТ УКРАЇНИ	
№ <u>1113</u>	
« <u>17</u> »	<u>12</u> <u>2001</u> р.

Дата прийняття	
рішення	
« <u>27</u> »	<u>ЛИП</u> 2001 р.

1. Електромагнітний сепаратор, який містить електромагнітну систему, що складається з обмотки постійного або перемінного струму, магнітопроводу, який відрізняється тим, що пластини магнітопроводу із електротехнічної сталі зібрані поперемінно з пластинами із діелектричного матеріалу.
2. Електромагнітний сепаратор за п.1^{кий} відрізняється тим, що зовнішні пластини встановлюються тільки з феромагнітного матеріалу.

65



УКРАЇНА

(19) UA

(11) 1113 (13) U

(51) 7 B03C1/02



ОПИС

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ
І НАУКИ УКРАЇНИДЕРЖАВНИЙ ДЕПАРТАМЕНТ
ІНТЕЛЕКТУАЛЬНОЇ
ВЛАСНОСТІ

ДО ПАТЕНТУ НА КОРИСНУ МОДЕЛЬ

(54) ЕЛЕКТРОМАГНІТНИЙ СЕПАРАТОР

(21) 2001031637

(22) 12.03.2001

(24) 17.12.2001

(46) 17.12.2001, Бюл. № 11, 2001 р.

(72) Просвірін Віктор Іванович, Хассай Дмитро
Віталійович, Кузнецов Ілля Олегович(73) ТАВРІЙСЬКА ДЕРЖАВНА АГРОТЕХНІЧНА
АКАДЕМІЯ(57) 1. Електромагнітний сепаратор, який містить
електромагнітну систему, що складається з об-

мотки постійного або перемінного струму, магнітопроводу, який відрізняється тим, що пластини магнітопроводу із електротехнічної сталі зібрані поперемінно з пластинами із діелектричного матеріалу.

2. Електромагнітний сепаратор за п. 1, який відрізняється тим, що зовнішні пластини встановлюються тільки з феромагнітного матеріалу.

Корисна модель належить до галузі сільськогосподарства, призначена для очищення сипучих матеріалів, наприклад зерна і зернових сумішей, які використовуються в кормоприготуванні та харчових галузях народного господарства, від феромагнітних тіл.

Відомі конструкції електромагнітних сепараторів для вилучення феромагнітних тіл (ФМТ) із сипучих матеріалів містять систему електромагнітів, встановлених в різних зонах матеріалу, що транспортується (А.С. СССР № 1260025 МПК В 03С 1/02, 1986).

Недоліком відомих конструкцій є значні капітальні та експлуатаційні витрати через велику металомісткість та енергомісткість.

Найбільш близьким технічним рішенням, вибраним як прототип, є електромагнітний сепаратор, який містить електромагнітну систему, що складається з: магнітопроводу (виконаний з Ш-подібних пластин електротехнічної сталі з лаковою ізоляцією між пластинами) та обмотки для постійного й перемінного струму (виконана з мідного дроту) (Ермолин Н.П. Расчет трансформаторов малой мощности. - М.: Энергия, 1969. - 192с.).

Однак цей пристрій має більшу металомісткість та значне споживання електроенергії.

В основу корисної моделі поставлене завдання удосконалення електромагнітного сепаратора, в магнітопроводі якого використовуються пластини із немагнітного матеріалу, наприклад, гуми, текстоліту або гетенакса, розташовані поперемінно з пластинами із електротехнічної сталі. Також відповідно до корисної моделі зовнішні пластини встановлюються тільки з електротехнічної сталі.

Таким чином, використання електромагнітного сепаратора такої конструкції задовольнить необхідні вимоги технологічного процесу, знизить відповідно металовитрати і споживання електричної енергії, а також застосування запропонованої конструкції магнітопроводу 1 електромагнітного сепаратора дозволить знизити капіталовитрати на 40 % (у зниженні металомісткості та енергомісткості) зі збільшенням якості сепарації зернових сумішей.

На фіг.1 зображена технологічна схема вилучення ФМТ із сипучого матеріалу.

На фіг. 2 представлена конструктивна схема магнітопроводу.

Електромагнітний сепаратор складається із секційного магнітопроводу 1, зібраного з Ш-подібних пластин 2 електротехнічної сталі і "баластних" Ш-подібних немагнітних пластин 3; в пазах магнітопроводу встановлена та закріплена обмотка 4, яка живиться постійним або перемінним струмом.

Запропонований пристрій працює таким чином: при наявності струму в обмотці 4 створюється магнітне поле в міжполюсному просторі і під дією пондеромоторних сил відбувається вилучення ФМТ із зернової суміші. ФМТ притягуються до магнітопроводу 1 і при накопичуванні зчищаються немагнітною лопаткою. Однак, за рахунок неоднорідності магнітопроводу 1, набраного з пластин, що чергуються (феромагнітних 2 із листів електротехнічної сталі і немагнітних 3, наприклад, із гуми або текстоліту), при одному й тому ж струмі (а то й меншому) топографія магнітного поля в робочій зоні буде незмінною.

(19) UA (11) 1113 (13) U

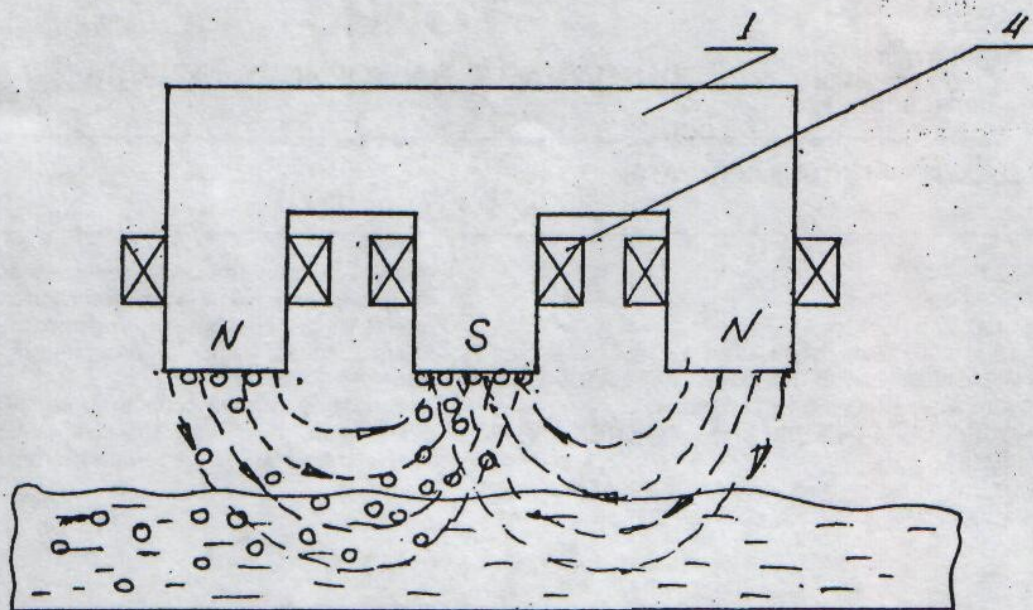


Fig. 1

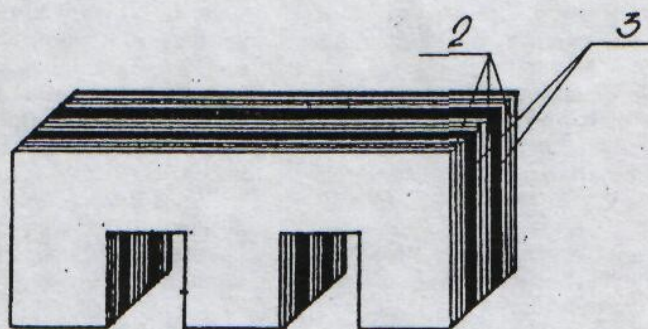


Fig. 2

Тираж 50 экз.

Відкрите акціонерне товариство «Патент»
Україна, 88000, м. Ужгород, вул. Гагаріна, 101
(03122) 3 - 72 - 89 (03122) 2 - 57 - 03

П Р И Л О Ж Е Н И Е В



УКРАЇНА

(19) (UA)

(11) **48528 A**

(51) 7 B03C1/02

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І
НАУКИ УКРАЇНИ

ДЕРЖАВНИЙ ДЕПАРТАМЕНТ
ІНТЕЛЕКТУАЛЬНОЇ
ВЛАСНОСТІ

Деклараційний патент на винахід

видано відповідно до Закону України
"Про охорону прав на винаходи і корисні моделі"

Голова Державного Департаменту
інтелектуальної власності



М. Паладій

(21) 2001096583

(22) 26.09.2001

(24) 15.08.2002

(46) 15.08.2002. Бюл. № 8

(72) Просвірнін Віктор Іванович, Хассай Дмитро Віталійович, Кузнецов Ілля Олегович

(73) Таврійська державна агротехнічна академія

(54) **ЕЛЕКТРОМАГНІТНИЙ СЕПАРАТОР**

4

(21) 2001096588

(57)

ПАТЕНТ УКРАЇНИ

№ 48528A

«15» 08 2002р.

Дата прийняття

рішення

" 8 КВІ 2002

р.

1. Електромагнітний сепаратор, що містить корпус, у якому закріплені вал із джерелом магнітного поля і скребачка, живильник, приймач продукту і феромагнітних домішок, який відрізняється тим, що джерело магнітного поля виконано у вигляді феромагнітних дисків, зібраних у секції та насаджених жорстко на вал, причому секції чергуються з електричними обмотками.
2. Електромагнітний сепаратор за п. 1, який відрізняється тим, що зовнішня поверхня дисків виконана у вигляді зірочки, зубці якої мають скошені поверхні.
3. Електромагнітний сепаратор за п. 1, який відрізняється тим, що обмотки мають зовнішній діаметр, рівний діаметру западин зубців.
4. Електромагнітний сепаратор за п. 1, який відрізняється тим, що скребачка має форму, яка точно копіює профіль електричних обмоток та секцій дисків і обладнана притискною пружиною.

/Начальник відділу

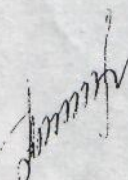


І.В. Павловська

Виконавець



В.І. Селіна





УКРАЇНА

(19) UA

(11) 48528

(13) A

(51) 6 B03C1/02

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ
І НАУКИ УКРАЇНИДЕРЖАВНИЙ ДЕПАРТАМЕНТ
ІНТЕЛЕКТУАЛЬНОЇ
ВЛАСНОСТІ

ОПИС

ДО ДЕКЛАРАЦІЙНОГО ПАТЕНТУ
НА ВИНАХІДвидається під
відповідальність
власника
патенту

(54) ЕЛЕКТРОМАГНІТНИЙ СЕПАРАТОР

1

(21) 2001096583

(22) 26.09.2001

(24) 15.08.2002

(46) 15.08.2002, Бюл. № 8, 2002 р.

(72) Просвірін Віктор Іванович, Хассай Дмитро
Віталійович, Кузнецов Ілля Олегович(73) ТАВРІЙСЬКА ДЕРЖАВНА АГРОТЕХНІЧНА
АКАДЕМІЯ(57) 1. Електромагнітний сепаратор, що містить
корпус, у якому закріплені вал із джерелом магніт-
ного поля і скребачка, живильник, приймач продук-
ту і феромагнітних домішок, який відрізняється
тим, що джерело магнітного поля виконано у ви-
гляді феромагнітних дисків, зібраних у секції та

2

насаджених жорстко на вал, причому секції чергу-
ються з електричними обмотками.2. Електромагнітний сепаратор за п. 1, який відрі-
зняється тим, що зовнішня поверхня дисків вико-
нана у вигляді зірочки, зубці якої мають скошені
поверхні.3. Електромагнітний сепаратор за п. 1, який відрі-
зняється тим, що обмотки мають зовнішній діа-
метр, рівний діаметру западин зубців.4. Електромагнітний сепаратор за п. 1, який відрі-
зняється тим, що скребачка має форму, яка точно
копіює профіль електричних обмоток та секцій
дисків і обладнана притисною пружиною.

Винахід належить до галузі сільського госпо-
дарства, призначено для очищення сипучих тонко
подрібнених матеріалів, наприклад борошна, яке
використовується в харчовій промисловості, від
феромагнітних домішок.

Відомий магнітний фільтроелемент містить
корпус, джерело магнітного поля, шайби, розта-
шовані на стержні, вхідний і вихідний патрубки (А
С. СССР № 279627, МПК В 03с 1/14 1970г).

Недоліком даної конструкції є складність реге-
neraції фільтру елементів, внаслідок чого фільт-
роелемент засмічується і потребує зупинки для
регенерації.

Найбільш близьким технічним рішенням, виб-
раним як прототип, є магнітний сепаратор, що міс-
тить робочий орган, виконаний у вигляді встанов-
лених на валу із зазором немагнітних дисків із
розміщеними в них секторними магнітами, причо-
му диски встановлено з можливістю обертання;
живильник; приймач продукту і феромагнітних до-
мішок; щітку для очищення дисків (А.С. СССР
№ 116325-3, МПК В03С 1/02, 1984).

Проте цей пристрій неефективний, оскільки
магнітне поле, яке утворюється постійними магні-
тами, нерівномірно охоплює робочу зону. Крім
того, через застосування щіток неякісно очищу-
ються диски, і частина уловлених домішок знову
попадає до очищеного продукту.

В основу винаходу покладено завдання ство-

рення електромагнітного сепаратора, в якому як
джерело магнітного поля служить система секцій
дисків, які чергуються, при чому диски мають фо-
рму зірочок зі скошеними поверхнями й електрич-
них обмоток, установлених на обертному валі.
Утворена таким чином система розташована під
потокм сипучих тонко подрібнених матеріалів, що
дає можливість рівномірно розподілити вплив маг-
нітного поля в робочій зоні й одержати високий
ступінь очищення.

Поставлене завдання вирішується за рахунок
того, що запропонований електромагнітний сепаратор містить корпус, у якому закріплений вал із джерелом магнітного поля і скребачка, живильник, приймач продукту і феромагнітних домішок, відповідно до винаходу, джерело магнітного поля виконане у вигляді феромагнітних дисків, зібраних у секції, що насаджені жорстко на вал і чергуються з електричними обмотками.

Поставлене завдання вирішується також за рахунок того, що зовнішня поверхня дисків виконана у вигляді зірочки зі скошеними поверхнями у формі зубців.

Поставлене завдання вирішується також за рахунок того, що обмотки мають зовнішній діаметр, рівний діаметру западин зубців, а скребачка точно копіює профіль електричних обмоток і секцій дисків та обладнаний притисною пружиною.

Таким чином, використання електромагнітного

(13) A

(11) 48528

(19) UA

Вх. № 1042 ТАТА
« 13 » 11 2002р.

сепаратора даної конструкції дозволить підвищити ступінь вилучення феромагнітних домішок; чергування секцій дисків з обмотками дає можливість рівномірно розподілити магнітне поле у всій робочій зоні сепаратора, а скошені поверхні зубців дисків дозволяють рівномірно розподілити магнітне поле на полюсах, за рахунок чого відбувається повне вилучення феромагнітних домішок.

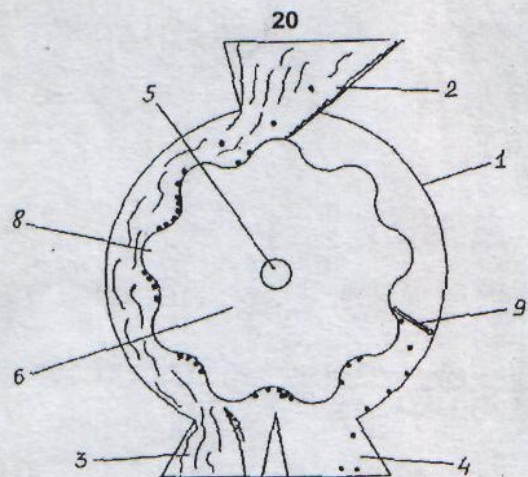
На фіг 1 зображено схему вилучення феромагнітних домішок із сипучих тонко подрібнених матеріалів.

На фіг 2 зображено джерело магнітного поля сепаратора.

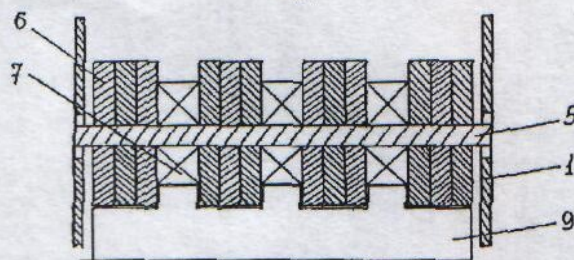
На фіг 3 зображено конструкцію скребка для очищення електромагнітної системи сепаратора.

Електромагнітний сепаратор складається з корпусу 1 із живильником 2 у нижній частині корпусу 1 є приймач 3 виходу очищеного продукту і приймач 4 уловлених феромагнітних домішок. У корпусі 1 установлений вал 5, що має можливість обертання. На вал 5 жорстко насаджено секції дисків 6, що чергуються з електричними обмотками 7. Зовнішня поверхня дисків 6 виконана у вигляді зірочок, зубці 8 якої мають скошені поверхні. Очищення електромагнітної системи здійснює скребок 9, підпружинений пристроєм 10, які розташовані на одній зі стінок корпусу 1.

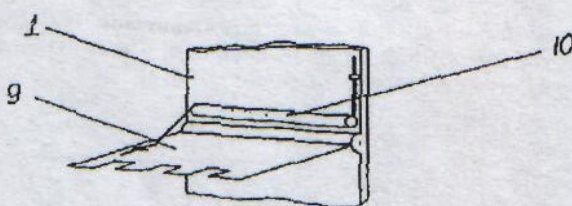
Пристрій працює таким чином. Сипучий тонко подрібнений матеріал надходить у живильник 2, звідкіль потрапляє на електромагнітну систему, що складається з вала 5, секцій дисків 6 і електричних обмоток 7. Під дією зовнішнього приводу, вал 5 приводиться в рух і сипучий юнко подрібнений матеріал потрапляє в робочу зону корпусу 1, у якій під дією пондеромоторних сил магнітного поля відбувається вилучення феромагнітних домішок. Очищений матеріал надходить у приймач 3 виходу очищеного продукту, а уловлені феромагнітні домішки, що видаляються скребком 9, підпружиненим пристроєм 10 потрапляють у приймач 4 уловлених феромагнітних домішок.



Фіг. 1



Фіг. 2



Фіг. 3

ДП «Український інститут промислової власності» (Укрпатент)

вул. Сім'ї Хохлових, 15, м. Київ, 04119, Україна

(044) 456 - 20 - 90

ТОВ «Міжнародний науковий комітет»

вул. Артема, 77, м. Київ, 04050, Україна

(044) 216 - 32 - 71

П Р И Л О Ж Е Н И Е Г

Таблица Г.1

Исследование подъема ферромагнитных шаров к центру полюса

Ур, мм	d = 19мм		d = 15мм		d = 11,9мм		d = 8мм		d = 4,8мм		d = 3,1мм	
	I, A	t, c	I, A	T, c	I, A	t, c	I, A	t, c	I, A	t, c	I, A	t, c
5	6,7	0,11	7,3	0,19	7,5	~	8,3	~	9	~	9,7	~
10	8	0,182	8,2	0,225	8,05	~	8,4	~	9,1	~	8,7	~
20	9,85	0,13	10,4	0,23	10,2	0,2	8,6	~	8,5	~	8,8	~
30	11,9	0,21	11,9	0,23	11,8	0,235	10,2	~	9,5	~	10	~
40	14,2	0,3	14,8	0,21	14,6	0,215	14,2	0,215	14	~	13,9	~
50	18,4	0,265	20	0,25	18,8	0,215	18	0,15	17,7	~	17,2	~
60	28,7	0,21	26	0,215	25,2	0,24	23,5	0,15	23,3	~	22,5	~
65	32,6	0,225	31	0,32	28,2	0,305	26,8	0,15	26,4	~	25,7	~
70	~	~	~	~	32	0,34	31,8	0,19	29,5	~	29	~

Таблица Г.2

Исследование подъема ферромагнитных тел к центру полюса

Ур, мм	Болты				Гайки			
	болт m=0,5гр	болт m=2,05гр	болт m=6,8гр	болт m=13,5гр	шайба гровер m=0,4гр	гайка m=2,1гр	гайка m=6,95гр	гайка m=13,9гр
	I, A	I, A	I, A	I, A	I, A	I, A	I, A	I, A
5	2,4	4,2	3,1	3,65	1,4	3,4	3,7	4,5
10	4,4	4,7	3,6	4,24	3,85	5,15	5	5,89
20	4,5	4,95	4,45	5,24	4,15	6,05	5,1	6,13
30	5,2	5,7	5,47	6,44	4,7	7	6,25	7,36
40	6,35	6,7	7,1	7,7	5,35	8,5	8,5	9,12
50	8,05	8,6	9	9,68	6,7	10,5	10,6	11,6
60	10,2	12,1	11,5	13,03	8,8	14,7	12,59	14,52
65	13,2	13,2	12,75	14,65	9,85	16,4	14,5	17,08
70	15,3	14,7	14,5	17,1	12,9	19,9	19	22,38

Таблица Г.3

Исследование электромагнита с шихтованным магнитопроводом (шихтовка 0%)

	Шар d=4,8мм	Шар d=8мм	Шар d=11,9мм	Шар d=19мм
Y _{max}	I, А	I, А	I, А	I, А
5	7	6,2	6,1	5,8
10	7,1	6,5	6,55	6,5
20	7,2	7,2	7,4	8,1
30	8,4	8,6	9,3	10
40	10,5	11	12	14
50	14,2	15,2	16,1	18,5
	Шихтовка 0%			

Таблица Г.4

Исследование электромагнита с шихтованным магнитопроводом (шихтовка 22%)

	Шар d=4,8мм	Шар d=8мм	Шар d=11,9мм	Шар d=19мм
Y _{max}	I, А	I, А	I, А	I, А
5	7	6,2	6,15	6,1
10	7,15	6,5	6,55	6,55
20	7,4	7,2	7,5	8,1
30	8,3	8,7	9,5	10,3
40	10,7	11,5	12,5	14,2
50	14,4	15,2	16,8	19
	Шихтовка 22%			

Таблица Г.5

Исследование электромагнита с шихтованным магнитопроводом (шихтовка 33%)

	Шар d=4,8мм	Шар d=8мм	Шар d=11,9мм	Шар d=19мм
Y _{max}	I, А	I, А	I, А	I, А
5	7	6,2	6,15	6,1
10	7,15	6,55	6,55	6,55
20	7,4	7,3	7,5	8,2
30	8,3	8,8	9,7	10,4
40	10,9	12	12,5	14,2
50	14,7	15,4	16,9	19,5
	Шихтовка 33%			

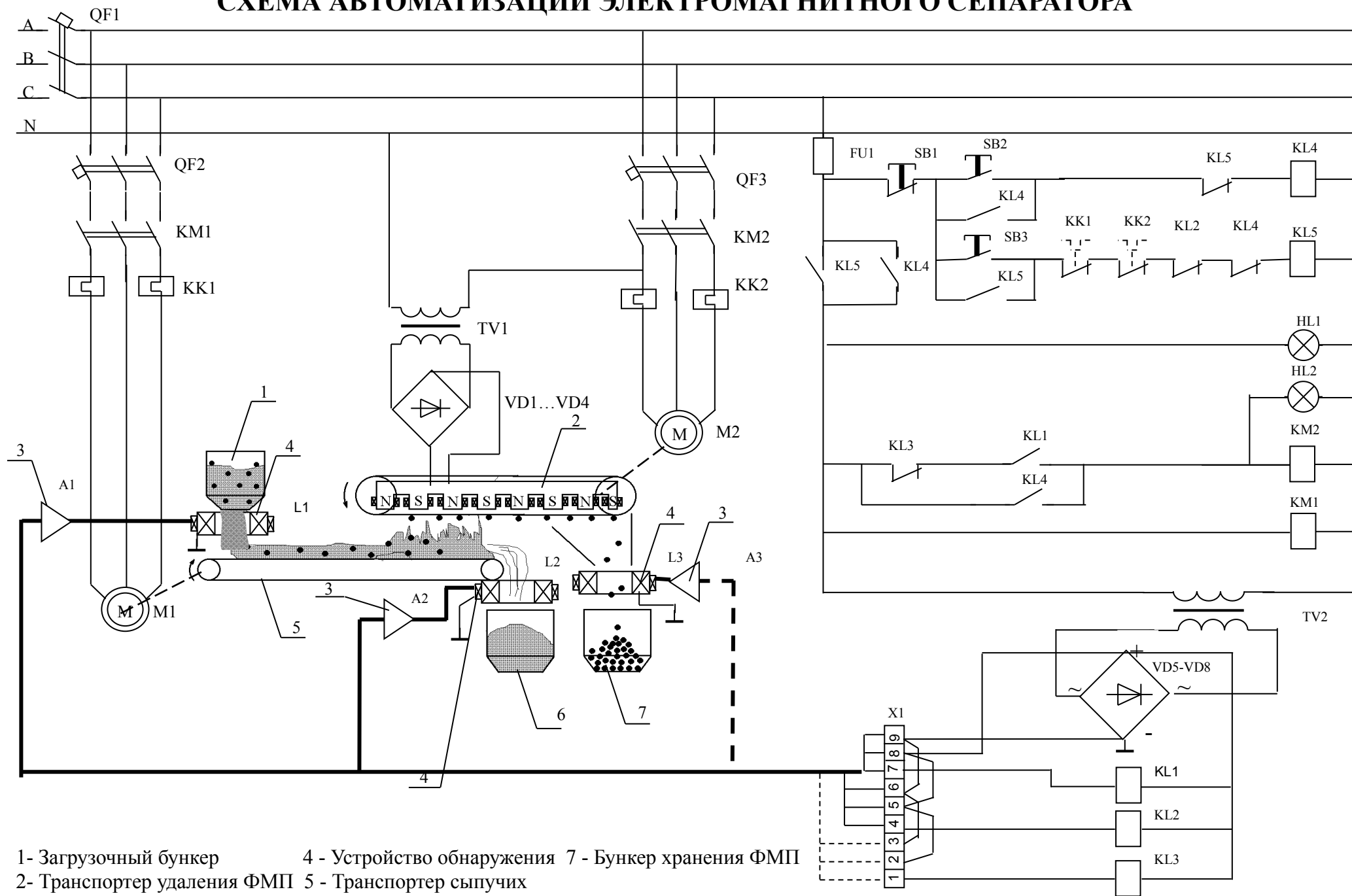
Таблица Г.6

Исследование электромагнита с шихтованным магнитопроводом (шихтовка 44%)

	Шар d=4,8мм	Шар d=8мм	Шар d=11,9мм	Шар d=19мм
Y _{max}	I, А	I, А	I, А	I, А
5	7	6,2	6,2	6,15
10	7,2	6,6	6,6	6,6
20	7,45	7,4	7,5	8,3
30	8,5	9,2	9,8	10,5
40	11,3	12	13	14
50	15	16	17,3	20,5
	Шихтовка 44%			

П Р И Л О Ж Е Н И Е Д

СХЕМА АВТОМАТИЗАЦИИ ЭЛЕКТРОМАГНИТНОГО СЕПАРАТОРА



П Р И Л О Ж Е Н И Е

УТВЕРЖДАЮ

Председатель правл. ОАО ММЭЗ

Москаленко О.И.

"18" ноября 2004г.



УТВЕРЖДАЮ

Ректор ТГАТА

Курьячковский В.Л.

"18" ноября 2004г.

[Handwritten signature]



А К Т

Мы, нижеподписавшиеся, гл. инженер ММЭЗ Пашетных В.П. зав. кафедрой "Энергетика" ТГАТА д.т.н., проф. Просвирнин В.И., проректор ТГАТА к.т.н. Масюткин Е.П., инж. Хассай Д.В. составили настоящий акт в том, что на Мелитопольском маслоэкстракционном заводе были проделаны экспериментальные исследования установки очистки зерновых сыпучих материалов от ферромагнитных тел. Обработка проводилась в течении суток, установленная мощность электромагнита 0,5кВт, объем перерабатываемых зерновых – 80т.

Экономическая эффективность от внедрения установки для очистки подсолнечника от ферромагнитных тел составила $41,822 \div 863,922$ тыс.грн/год. Расчеты представлены в приложении .

Гл. инж.

[Handwritten signature]

Пашетных В.П.

Нач. ПЭО

[Handwritten signature]

Прокопенко Е.М.

Зав.каф. "Энергетика"

[Handwritten signature]

Просвирнин В.И.

Проректор

[Handwritten signature]

Масюткин Е.П.

Инж.

Хассай Д.В.

П Р И Л О Ж Е Н И Е Ж

„УТВЕРЖДАЮ”

Председатель правления

ОАО Мелитопольский

маслоэкстракционный завод

Москаленко О.И.



ноября

2004г.

Приложение к акту №...3... от 18 ноября 2004г.

Традиционно эффективность применения тех или иных технических сред в разрабатываемых технологиях по производству продукции складывается из социального и экономического эффектов. Учет таких факторов как санитарно-гигиенические условия труда и его безопасность, потери продукции от внеплановых и аварийных ремонтов технологического оборудования и других широко освещены в соответствующей литературе. Кроме того, в приложении приведены соответствующие расчеты по эффективности применения электромагнитных устройств для очистки сыпучих материалов от ферромагнитных примесей. Прочие подробности о этих вопросах с нашей стороны излишне.

Расчет условного экономического эффекта (неточность расчетов обусловлена колебаниями цены единицы продукции в месяц и ремонтно-восстановительных работ, оценка которых зависит от сложности работ и фирмы подрядчика) от внедрения электромагнитного сепаратора на ММЭЗ.

Исходные данные:

Время простоя технологического оборудования цехов первичной очистки и экстракции вследствие попадания ферромагнитных тел (ФМТ): от 3 до 72 часов в год;

Производительность завода ~ 3,4 т/ч растительного масла;

Стоимость масла ~ 3,5 грн/л;

Зарплата подрядчика ~ 400 грн/мес;

Дополнительные материалы ~ от 1000 до 2000 грн;

Стоимость базового (разрабатываемого Хорольским машстройзаводом) сепаратора 3500грн.

Расчет:

Количество недовыпущенной продукции за время вынужденных простоев в течении года, т/год. :

$$3,4 \text{ т/ч} \cdot (3 \dots 72 \text{ ч/год}) = 10,2 \dots 244,8 \text{ т/год.}$$

Стоимость недовыпущенной продукции, т/год.:

$$10,2 \dots 244,8 \text{ т/год} \cdot 3,500 \text{ грн/т} = 35,7 \dots 856,8 \text{ тыс. грн/год.}$$

Фонд ремонтных работ по восстановлению оборудования вследствие попадания ФМТ (с учетом заработной платы 4^м подрядчикам за период восстановительных работ):

$$1000 \dots 2000 \text{ грн} + 4 \text{ чел} \cdot (3 \text{ сут.} \cdot 18,2 \text{ грн/сут.}) = 1218,4 \dots 2218,4 \text{ грн.}$$

Снижение затрат на электроэнергию за счет внедрения системы „ждущего” режима работы и потребления установленной мощности опытно-промышленного сепаратора в цехе первичной переработки составляет ~0,146 грн/т.

$$0,146 \text{ грн/т} \cdot 80 \text{ т/сут.} \cdot 30 \text{ сут.} \cdot 12 \text{ мес} = 4204 \text{ грн/год.}$$

Снижение стоимости сепаратора за счет применения „шихтованного” магнитопровода электротехническим картоном составит ~ 700 грн.

Всего фактический экономический эффект от внедрения составит

$$41,822 \div 863,922 \text{ тыс. грн/год.}$$

Представители от ТГАТА:

Руководитель работы

к.т.н. доц. Масюткин Е.П.

Соискатель степени к.т.н.

инж. Хассай Д.В.

Представители завода:

Нач. ПЭО

Прокопенко Е.М.

Гл. инженер ММЭЗ

Пашетных В.П.

Пред. правления ММЭЗ

Москаленко О.И.

П Р И Л О Ж Е Н И Е А



УКРАЇНА

(19) (UA)

(11) 38894 A

(51) 7 B03C1/08

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І
НАУКИ УКРАЇНИ

ДЕРЖАВНИЙ ДЕПАРТАМЕНТ
ІНТЕЛЕКТУАЛЬНОЇ
ВЛАСНОСТІ

Деклараційний патент на винахід

зареєстровано відповідно до Закону України
"Про охорону прав на винаходи і корисні моделі" від 15 грудня 1993 року № 3887-III
у редакції від 1 червня 2000 року № 1771-III



Голова Департаменту

(21) 2000116546

(22) 21.11.2000

(24) 15.05.2001

(46) 15.05.2001. Бюл. № 4

(72) Просвірнін Віктор Іванович, Хассай Дмитро Віталійович, Кузнецов Ілля Олегович

(73) Таврійська державна агротехнічна академія

(54) ВІБРОМАГНІТНИЙ СЕПАРАТОР



УКРАЇНА

(19) UA (11) 38894 (13) A

(51) 7 B03C1/08

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ
І НАУКИ УКРАЇНИДЕРЖАВНИЙ ДЕПАРТАМЕНТ
ІНТЕЛЕКТУАЛЬНОЇ
ВЛАСНОСТІ

ОПИС

ДО ДЕКЛАРАЦІЙНОГО ПАТЕНТУ
НА ВИНАХІДвидається під
відповідальність
власника
патенту

(54) ВІБРОМАГНІТНИЙ СЕПАРАТОР

(21) 2000116546

(22) 21.11.2000

(24) 15.05.2001

(33) UA

(46) 15.05.2001, Бюл. № 4, 2001 р.

(72) Просвірін Віктор Іванович, Хассай Дмитро Віталійович, Кузнєцов Ілля Олегович

(73) Таврійська державна агротехнічна академія

(57) 1. Віброелектромагнітний сепаратор, який містить вібратор, систему електромагнітів з полюсами полярності, яка чергується, пристрої транспортування вихідного матеріалу та феромагнітних тіл, приймальні бункери для продуктів розподілу, який

відрізняється тим, що вібратор виконаний у вигляді роликів із сегментами, привід яких здійснюється від транспортерної стрічки вихідного матеріалу, причому сегменти на парних роликах розташовані через третину окружності, а на непарних – через чверть.

2. Вібромагнітний сепаратор за п. 1, який відрізняється тим, що парні ролики встановлені під полюсами електромагнітів, а непарні – між полюсами.

3. Вібромагнітний сепаратор за п. 1, який відрізняється тим, що сегменти виконані радіусом, який дорівнює одній дванадцятій радіуса ролика ($R_c=1/12 R_p$).

Винахід, який належить до галузі сільського господарства, призначено для очищення сипучих матеріалів від феромагнітних тіл, наприклад, зерна та зернових сумішей, які використовуються в кормоприготуванні та харчових галузях народного господарства.

Відомий вібромагнітний сепаратор, який містить вібратор, систему електромагнітів, пристрій для завантаження магнітних часток та транспортування магнітних часток, приймальний бункер для продуктів розподілу, вібратори (Кармазин В.И. Современные методы магнитного обогащения руд черных металлов. - М.: Госгортехиздат, 1962. - С. 388).

Недоліком даного пристрою є низька ефективність процесу сепарації, пов'язана зі швидким утворенням флокул, які при переміщенні до полюсів магнітів тягнуть за собою велику кількість немагнітних часток.

Найбільш близьким технічним рішенням, вибраним як прототип, є вібромагнітний сепаратор, який містить вібратор, систему електромагнітів з полюсами, пристрій для завантаження вихідного матеріалу й транспортування магнітних часток, приймальні бункери для продуктів розподілу, вібратори, що забезпечують вібрацію сипучого матеріалу з різною частотою під та поміж полюсами електромагніту (А.С. СССР № 545383 МПК6 B03C/08, 1977).

Однак, цей пристрій має більшу енергоємність через наявність 3 приводів – вібраторів та 2 секцій, а також неможливість застосування в техноло-

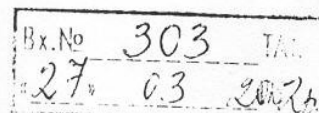
гії переробки зерна через несполучуваність зі стрічковим транспортером.

В основу винаходу покладено завдання створення вібромагнітного сепаратора, в якому вібрація здійснюється блоком роликів із сегментами, встановленим під транспортерною стрічкою, що викликає спливання феромагнітних тіл на поверхню, за рахунок чого підвищується ефективність їх вилучення і відповідно покращується чистота зернового матеріалу.

Віброелектромагнітний сепаратор містить вібратор, систему електромагнітів з полюсами полярності, яка чергується, пристрої транспортування вихідного матеріалу та феромагнітних тіл, приймальні бункери для продуктів розподілу. Відповідно до винаходу вібратор виконаний у вигляді роликів із сегментами, привід яких здійснюється від транспортерної стрічки вихідного матеріалу, причому сегменти на парних роликах розташовані через третину окружності, а на непарних – через чверть; згідно з винаходом парні ролики встановлені під полюсами електромагнітів, а непарні – між полюсами. Сегменти виконані радіусом, який дорівнює одній дванадцятій радіуса ролика. Усе це сприяє вібрації маси з різною частотою.

Таким чином, застосування вібратора даної конструкції забезпечить руйнування зв'язків між частками матеріалу, тим самим знижується "удавана в'язкість", а отже й сили тертя, дозволяючи повністю вилучити феромагнітні домішки із зернових мас.

(19) UA (11) 38894 (13) A



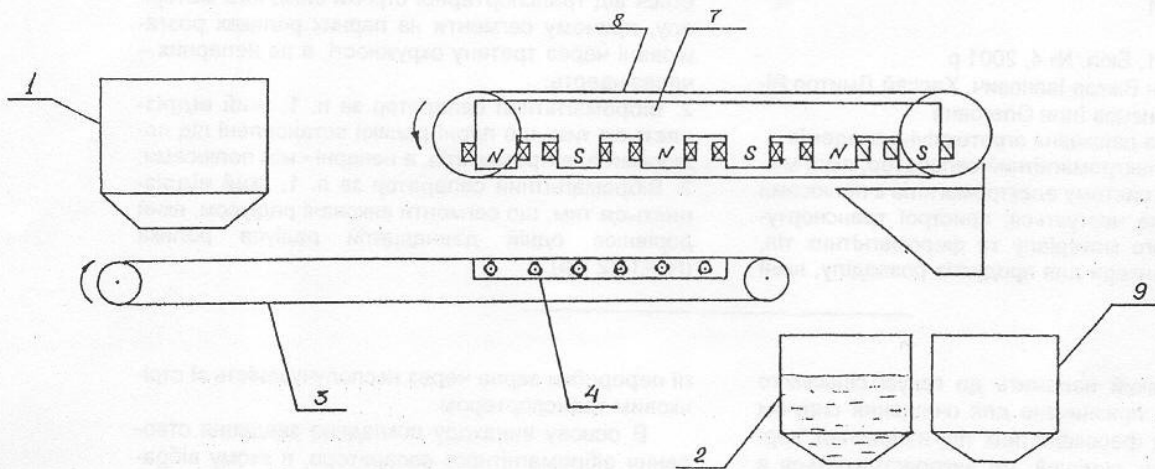
На фіг. 1 зображено схему функціонування технологічного процесу вилучення феромагнітних тіл із сипучих матеріалів.

На фіг. 2 зображено фрагмент непарних роликів із сегментами.

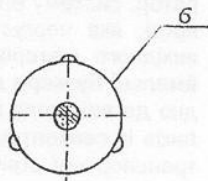
На фіг. 3 зображено фрагмент парних роликів із сегментами.

Віброелектромагнітний сепаратор складається з: бункера вихідного 1 та очищеного 2 сипучого матеріалу, розташованих над і під (відповідно) транспортерної стрічки 3, блоку роликів 4 з парною 5 та непарною 6 кількістю сегментів, установленим над електромагнітною системою 7, транспортерної стрічки 8, розташованої над блоком роликів 4 та бункера феромагнітних тіл 9, закріпленого над транспортером 8.

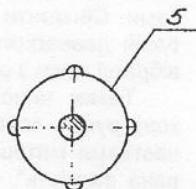
Пристрій працює таким чином. Маса сипучого матеріалу, наприклад, зернової суміші з феромагнітними домішками, надходить з вихідного бункера 1 на транспортер 3. Рухаючись зі стрічкою транспортера 3, маса надходить на ділянку блока роликів із сегментами 4, де відбувається "кипіння" сипучого матеріалу під дією парних 5 та непарних 6 роликів із сегментами, викликаючи "спливання" феромагнітних тіл на поверхню. Під дією сил електромагнітного поля, створеного системою електромагнітів 7, феромагнітні домішки притягуються до транспортера 8, який, обертаючись за рухом сепарованого матеріалу, тягне магнітні частки до приймального бункера 9. Очищена зернова маса надходить у бункер очищеного сипучого матеріалу 2.



Фіг. 1



Фіг. 2



Фіг. 3

П Р И Л О Ж Е Н И Е Б



УКРАЇНА

(19) (UA)

(11) 1113

(51) 7 B03C1/02

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І
НАУКИ УКРАЇНИ

ДЕРЖАВНИЙ ДЕПАРТАМЕНТ
ІНТЕЛЕКТУАЛЬНОЇ
ВЛАСНОСТІ

Деклараційний патент на корисну модель

видано відповідно до Закону України
"Про охорону прав на винаходи і корисні моделі"

Голова Державного департаменту
інтелектуальної власності



М. Паладій

(21) 2001031637

(22) 12.03.2001

(24) 17.12.2001

(46) 17.12.2001 Бюл. № 11

(72) Просвірнін Віктор Іванович, Хассай Дмитро Віталійович, Кузнецов Ілля Олегович

(73) Таврійська державна агротехнічна академія

(54) ЕЛЕКТРОМАГНІТНИЙ СЕПАРАТОР

4 /21/ 2001031634

154/

157/

ПАТЕНТ УКРАЇНИ	
№ <u>1113</u>	
« <u>17</u> »	<u>12</u> <u>2001</u> р.

Дата прийняття	
рішення	
« <u>27</u> »	<u>ЛИП</u> 2001 р.

1. Електромагнітний сепаратор, який містить електромагнітну систему, що складається з обмотки постійного або перемінного струму, магнітопроводу, який відрізняється тим, що пластини магнітопроводу із електротехнічної сталі зібрані поперемінно з пластинами із діелектричного матеріалу.
2. Електромагнітний сепаратор за п.1^{кий} відрізняється тим, що зовнішні пластини встановлюються тільки з феромагнітного матеріалу.

65



УКРАЇНА

(19) UA

(11) 1113 (13) U

(51) 7 B03C1/02



ОПИС

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ
І НАУКИ УКРАЇНИДЕРЖАВНИЙ ДЕПАРТАМЕНТ
ІНТЕЛЕКТУАЛЬНОЇ
ВЛАСНОСТІ

ДО ПАТЕНТУ НА КОРИСНУ МОДЕЛЬ

(54) ЕЛЕКТРОМАГНІТНИЙ СЕПАРАТОР

(21) 2001031637

(22) 12.03.2001

(24) 17.12.2001

(46) 17.12.2001, Бюл. № 11, 2001 р.

(72) Просвірін Віктор Іванович, Хассай Дмитро
Віталійович, Кузнецов Ілля Олегович(73) ТАВРІЙСЬКА ДЕРЖАВНА АГРОТЕХНІЧНА
АКАДЕМІЯ(57) 1. Електромагнітний сепаратор, який містить
електромагнітну систему, що складається з об-

мотки постійного або перемінного струму, магнітопроводу, який відрізняється тим, що пластини магнітопроводу із електротехнічної сталі зібрані поперемінно з пластинами із діелектричного матеріалу.

2. Електромагнітний сепаратор за п. 1, який відрізняється тим, що зовнішні пластини встановлюються тільки з феромагнітного матеріалу.

Корисна модель належить до галузі сільськогосподарства, призначена для очищення сипучих матеріалів, наприклад зерна і зернових сумішей, які використовуються в кормоприготуванні та харчових галузях народного господарства, від феромагнітних тіл.

Відомі конструкції електромагнітних сепараторів для вилучення феромагнітних тіл (ФМТ) із сипучих матеріалів містять систему електромагнітів, встановлених в різних зонах матеріалу, що транспортується (А.С. СССР № 1260025 МПК В 03С 1/02, 1986).

Недоліком відомих конструкцій є значні капітальні та експлуатаційні витрати через велику металомісткість та енергомісткість.

Найбільш близьким технічним рішенням, вибраним як прототип, є електромагнітний сепаратор, який містить електромагнітну систему, що складається з: магнітопроводу (виконаний з Ш-подібних пластин електротехнічної сталі з лаковою ізоляцією між пластинами) та обмотки для постійного й перемінного струму (виконана з мідного дроту) (Ермолин Н.П. Расчет трансформаторов малой мощности. - М.: Энергия, 1969. - 192с.).

Однак цей пристрій має більшу металомісткість та значне споживання електроенергії.

В основу корисної моделі поставлене завдання удосконалення електромагнітного сепаратора, в магнітопроводі якого використовуються пластини із немагнітного матеріалу, наприклад, гуми, текстоліту або гетенакса, розташовані поперемінно з пластинами із електротехнічної сталі. Також відповідно до корисної моделі зовнішні пластини встановлюються тільки з електротехнічної сталі.

Таким чином, використання електромагнітного сепаратора такої конструкції задовольнить необхідні вимоги технологічного процесу, знизить відповідно металовитрати і споживання електричної енергії, а також застосування запропонованої конструкції магнітопроводу 1 електромагнітного сепаратора дозволить знизити капіталовитрати на 40 % (у зниженні металомісткості та енергомісткості) зі збільшенням якості сепарації зернових сумішей.

На фіг.1 зображена технологічна схема вилучення ФМТ із сипучого матеріалу.

На фіг. 2 представлена конструктивна схема магнітопроводу.

Електромагнітний сепаратор складається із секційного магнітопроводу 1, зібраного з Ш-подібних пластин 2 електротехнічної сталі і "баластних" Ш-подібних немагнітних пластин 3; в пазах магнітопроводу встановлена та закріплена обмотка 4, яка живиться постійним або перемінним струмом.

Запропонований пристрій працює таким чином: при наявності струму в обмотці 4 створюється магнітне поле в міжполюсному просторі і під дією пондеромоторних сил відбувається вилучення ФМТ із зернової суміші. ФМТ притягуються до магнітопроводу 1 і при накопичуванні зчищаються немагнітною лопаткою. Однак, за рахунок неоднорідності магнітопроводу 1, набраного з пластин, що чергуються (феромагнітних 2 із листів електротехнічної сталі і немагнітних 3, наприклад, із гуми або текстоліту), при одному й тому ж струмі (а то й меншому) топографія магнітного поля в робочій зоні буде незмінною.

(19) UA (11) 1113 (13) U

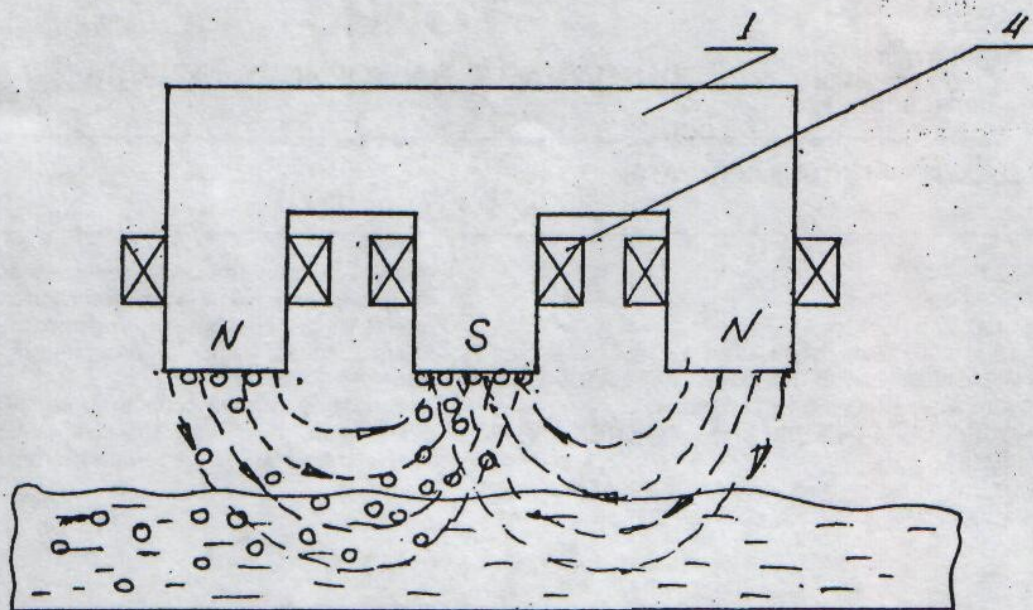


Fig. 1

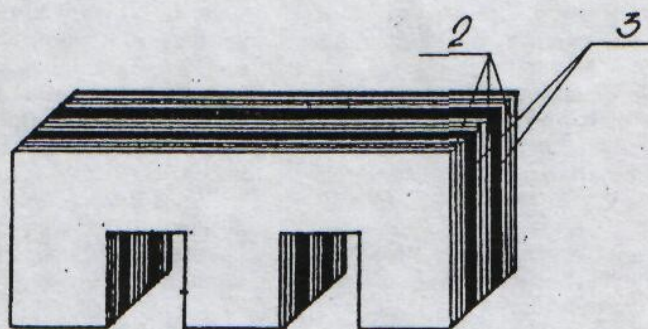


Fig. 2

Тираж 50 экз.

Відкрите акціонерне товариство «Патент»
Україна, 88000, м. Ужгород, вул. Гагаріна, 101
(03122) 3 - 72 - 89 (03122) 2 - 57 - 03

П Р И Л О Ж Е Н И Е В



УКРАЇНА

(19) (UA)

(11) **48528 A**

(51) 7 B03C1/02

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І
НАУКИ УКРАЇНИ

ДЕРЖАВНИЙ ДЕПАРТАМЕНТ
ІНТЕЛЕКТУАЛЬНОЇ
ВЛАСНОСТІ

Деклараційний патент на винахід

видано відповідно до Закону України
"Про охорону прав на винаходи і корисні моделі"

Голова Державного Департаменту
інтелектуальної власності



М. Паладій

(21) 2001096583
(22) 26.09.2001
(24) 15.08.2002
(46) 15.08.2002. Бюл.№ 8

(72) Просвірнін Віктор Іванович, Хассай Дмитро Віталійович, Кузнецов Ілля Олегович
(73) Таврійська державна агротехнічна академія

(54) **ЕЛЕКТРОМАГНІТНИЙ СЕПАРАТОР**

4

(21) 2001096588

(57)

ПАТЕНТ УКРАЇНИ

№ 48528A

«15» 08 2002р.

Дата прийняття

рішення

" 8 КВІ 2002

р.

1. Електромагнітний сепаратор, що містить корпус, у якому закріплені вал із джерелом магнітного поля і скребачка, живильник, приймач продукту і феромагнітних домішок, який відрізняється тим, що джерело магнітного поля виконано у вигляді феромагнітних дисків, зібраних у секції та насаджених жорстко на вал, причому секції чергуються з електричними обмотками.
2. Електромагнітний сепаратор за п. 1, який відрізняється тим, що зовнішня поверхня дисків виконана у вигляді зірочки, зубці якої мають скошені поверхні.
3. Електромагнітний сепаратор за п. 1, який відрізняється тим, що обмотки мають зовнішній діаметр, рівний діаметру западин зубців.
4. Електромагнітний сепаратор за п. 1, який відрізняється тим, що скребачка має форму, яка точно копіює профіль електричних обмоток та секцій дисків і обладнана притискною пружиною.

/Начальник відділу

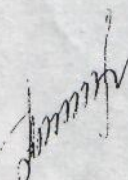


І.В. Павловська

Виконавець



В.І. Селіна





УКРАЇНА

(19) UA

(11) 48528

(13) A

(51) 6 B03C1/02

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ
І НАУКИ УКРАЇНИДЕРЖАВНИЙ ДЕПАРТАМЕНТ
ІНТЕЛЕКТУАЛЬНОЇ
ВЛАСНОСТІ

ОПИС

ДО ДЕКЛАРАЦІЙНОГО ПАТЕНТУ
НА ВИНАХІДвидається під
відповідальність
власника
патенту

(54) ЕЛЕКТРОМАГНІТНИЙ СЕПАРАТОР

1

(21) 2001096583

(22) 26.09.2001

(24) 15.08.2002

(46) 15.08.2002, Бюл. № 8, 2002 р.

(72) Просвірін Віктор Іванович, Хассай Дмитро
Віталійович, Кузнецов Ілля Олегович(73) ТАВРІЙСЬКА ДЕРЖАВНА АГРОТЕХНІЧНА
АКАДЕМІЯ(57) 1. Електромагнітний сепаратор, що містить
корпус, у якому закріплені вал із джерелом магніт-
ного поля і скребачка, живильник, приймач продук-
ту і феромагнітних домішок, який відрізняється
тим, що джерело магнітного поля виконано у ви-
гляді феромагнітних дисків, зібраних у секції та

2

насаджених жорстко на вал, причому секції чергу-
ються з електричними обмотками.2. Електромагнітний сепаратор за п. 1, який відрі-
зняється тим, що зовнішня поверхня дисків вико-
нана у вигляді зірочки, зубці якої мають скошені
поверхні.3. Електромагнітний сепаратор за п. 1, який відрі-
зняється тим, що обмотки мають зовнішній діа-
метр, рівний діаметру западин зубців.4. Електромагнітний сепаратор за п. 1, який відрі-
зняється тим, що скребачка має форму, яка точно
копіює профіль електричних обмоток та секцій
дисків і обладнана притисною пружиною.

Винахід належить до галузі сільського госпо-
дарства, призначено для очищення сипучих тонко
подрібнених матеріалів, наприклад борошна, яке
використовується в харчовій промисловості, від
феромагнітних домішок.

Відомий магнітний фільтроелемент містить
корпус, джерело магнітного поля, шайби, розта-
шовані на стержні, вхідний і вихідний патрубки (А
С. СССР № 279627, МПК В 03с 1/14 1970г).

Недоліком даної конструкції є складність реге-
neraції фільтру о елемента, внаслідок чого фільт-
роелемент засмічується і потребує зупинки для
регенерації.

Найбільш близьким технічним рішенням, виб-
раним як прототип, є магнітний сепаратор, що міс-
тить робочий орган, виконаний у вигляді встанов-
лених на валу із зазором немагнітних дисків із
розміщеними в них секторними магнітами, причо-
му диски встановлено з можливістю обертання;
живильник; приймач продукту і феромагнітних до-
мішок; щітку для очищення дисків (А.С. СССР
№116325-3, МПК В03С 1/02, 1984).

Проте цей пристрій неефективний, оскільки
магнітне поле, яке утворюється постійними магні-
тами, нерівномірно охоплює робочу зону. Крім
того, через застосування щіток неякісно очищу-
ються диски, і частина уловлених домішок знову
попадає до очищеного продукту.

В основу винаходу покладено завдання ство-

рення електромагнітного сепаратора, в якому як
джерело магнітного поля служить система секцій
дисків, які чергуються, при чому диски мають фо-
рму зірочок зі скошеними поверхнями й електрич-
них обмоток, установлених на обертному валі.
Утворена таким чином система розташована під
потокм сипучих тонко подрібнених матеріалів, що
дає можливість рівномірно розподілити вплив маг-
нітного поля в робочій зоні й одержати високий
ступінь очищення.

Поставлене завдання вирішується за рахунок
того, що запропонований електромагнітний сепаратор містить корпус, у якому закріплений вал із джерелом магнітного поля і скребачка, живильник, приймач продукту і феромагнітних домішок, відповідно до винаходу, джерело магнітного поля виконане у вигляді феромагнітних дисків, зібраних у секції, що насаджені жорстко на вал і чергуються з електричними обмотками.

Поставлене завдання вирішується також за рахунок того, що зовнішня поверхня дисків виконана у вигляді зірочки зі скошеними поверхнями у формі зубців.

Поставлене завдання вирішується також за рахунок того, що обмотки мають зовнішній діаметр, рівний діаметру западин зубців, а скребачка точно копіює профіль електричних обмоток і секцій дисків та обладнаний притисною пружиною.

Таким чином, використання електромагнітного

(13) A

(11) 48528

(19) UA

Вх. № 1042 ТАТА
« 13 » 11 2002р.

сепаратора даної конструкції дозволить підвищити ступінь вилучення феромагнітних домішок; чергування секцій дисків з обмотками дає можливість рівномірно розподілити магнітне поле у всій робочій зоні сепаратора, а скошені поверхні зубців дисків дозволяють рівномірно розподілити магнітне поле на полюсах, за рахунок чого відбувається повне вилучення феромагнітних домішок.

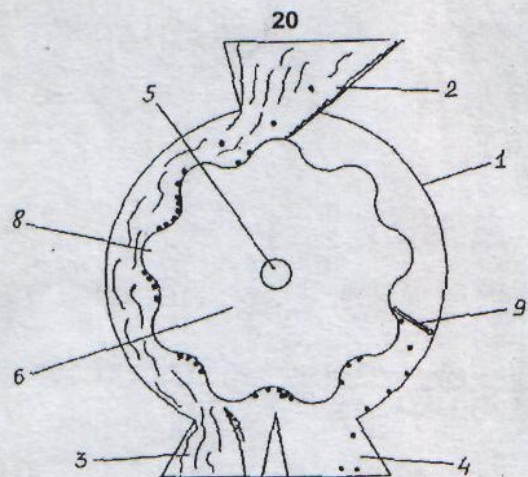
На фіг 1 зображено схему вилучення феромагнітних домішок із сипучих тонко подрібнених матеріалів.

На фіг 2 зображено джерело магнітного поля сепаратора.

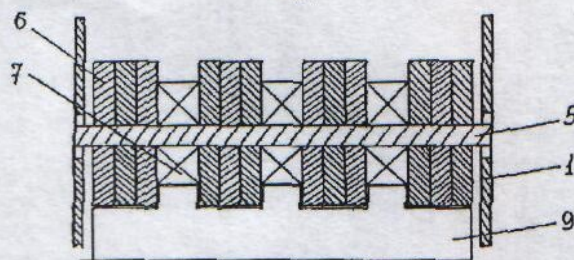
На фіг 3 зображено конструкцію скребка для очищення електромагнітної системи сепаратора.

Електромагнітний сепаратор складається з корпусу 1 із живильником 2 у нижній частині корпусу 1 є приймач 3 виходу очищеного продукту і приймач 4 уловлених феромагнітних домішок. У корпусі 1 установлений вал 5, що має можливість обертання. На вал 5 жорстко насаджено секції дисків 6, що чергуються з електричними обмотками 7. Зовнішня поверхня дисків 6 виконана у вигляді зірочок, зубці 8 якої мають скошені поверхні. Очищення електромагнітної системи здійснює скребок 9, підпружинений пристроєм 10, які розташовані на одній зі стінок корпусу 1.

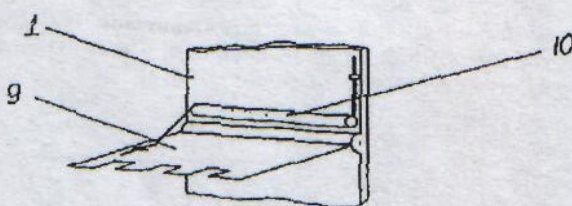
Пристрій працює таким чином. Сипучий тонко подрібнений матеріал надходить у живильник 2, звідкіль потрапляє на електромагнітну систему, що складається з вала 5, секцій дисків 6 і електричних обмоток 7. Під дією зовнішнього приводу, вал 5 приводиться в рух і сипучий юнко подрібнений матеріал потрапляє в робочу зону корпусу 1, у якій під дією пондеромоторних сил магнітного поля відбувається вилучення феромагнітних домішок. Очищений матеріал надходить у приймач 3 виходу очищеного продукту, а уловлені феромагнітні домішки, що видаляються скребком 9, підпружиненим пристроєм 10 потрапляють у приймач 4 уловлених феромагнітних домішок.



Фіг. 1



Фіг. 2



Фіг. 3

ДП «Український інститут промислової власності» (Укрпатент)

вул. Сім'ї Хохлових, 15, м. Київ, 04119, Україна

(044) 456 - 20 - 90

ТОВ «Міжнародний науковий комітет»

вул. Артема, 77, м. Київ, 04050, Україна

(044) 216 - 32 - 71

П Р И Л О Ж Е Н И Е Г

Таблица Г.1

Исследование подъема ферромагнитных шаров к центру полюса

Ур, мм	d = 19мм		d = 15мм		d = 11,9мм		d = 8мм		d = 4,8мм		d = 3,1мм	
	I, A	t, c	I, A	T, c	I, A	t, c	I, A	t, c	I, A	t, c	I, A	t, c
5	6,7	0,11	7,3	0,19	7,5	~	8,3	~	9	~	9,7	~
10	8	0,182	8,2	0,225	8,05	~	8,4	~	9,1	~	8,7	~
20	9,85	0,13	10,4	0,23	10,2	0,2	8,6	~	8,5	~	8,8	~
30	11,9	0,21	11,9	0,23	11,8	0,235	10,2	~	9,5	~	10	~
40	14,2	0,3	14,8	0,21	14,6	0,215	14,2	0,215	14	~	13,9	~
50	18,4	0,265	20	0,25	18,8	0,215	18	0,15	17,7	~	17,2	~
60	28,7	0,21	26	0,215	25,2	0,24	23,5	0,15	23,3	~	22,5	~
65	32,6	0,225	31	0,32	28,2	0,305	26,8	0,15	26,4	~	25,7	~
70	~	~	~	~	32	0,34	31,8	0,19	29,5	~	29	~

Таблица Г.2

Исследование подъема ферромагнитных тел к центру полюса

Ур, мм	Болты				Гайки			
	болт m=0,5гр	болт m=2,05гр	болт m=6,8гр	болт m=13,5гр	шайба гровер m=0,4гр	гайка m=2,1гр	гайка m=6,95гр	гайка m=13,9гр
	I, A	I, A	I, A	I, A	I, A	I, A	I, A	I, A
5	2,4	4,2	3,1	3,65	1,4	3,4	3,7	4,5
10	4,4	4,7	3,6	4,24	3,85	5,15	5	5,89
20	4,5	4,95	4,45	5,24	4,15	6,05	5,1	6,13
30	5,2	5,7	5,47	6,44	4,7	7	6,25	7,36
40	6,35	6,7	7,1	7,7	5,35	8,5	8,5	9,12
50	8,05	8,6	9	9,68	6,7	10,5	10,6	11,6
60	10,2	12,1	11,5	13,03	8,8	14,7	12,59	14,52
65	13,2	13,2	12,75	14,65	9,85	16,4	14,5	17,08
70	15,3	14,7	14,5	17,1	12,9	19,9	19	22,38

Таблица Г.3

Исследование электромагнита с шихтованным магнитопроводом (шихтовка 0%)

	Шар d=4,8мм	Шар d=8мм	Шар d=11,9мм	Шар d=19мм
Y _{max}	I, А	I, А	I, А	I, А
5	7	6,2	6,1	5,8
10	7,1	6,5	6,55	6,5
20	7,2	7,2	7,4	8,1
30	8,4	8,6	9,3	10
40	10,5	11	12	14
50	14,2	15,2	16,1	18,5
	Шихтовка 0%			

Таблица Г.4

Исследование электромагнита с шихтованным магнитопроводом (шихтовка 22%)

	Шар d=4,8мм	Шар d=8мм	Шар d=11,9мм	Шар d=19мм
Y _{max}	I, А	I, А	I, А	I, А
5	7	6,2	6,15	6,1
10	7,15	6,5	6,55	6,55
20	7,4	7,2	7,5	8,1
30	8,3	8,7	9,5	10,3
40	10,7	11,5	12,5	14,2
50	14,4	15,2	16,8	19
	Шихтовка 22%			

Таблица Г.5

Исследование электромагнита с шихтованным магнитопроводом (шихтовка 33%)

	Шар d=4,8мм	Шар d=8мм	Шар d=11,9мм	Шар d=19мм
Y _{max}	I, А	I, А	I, А	I, А
5	7	6,2	6,15	6,1
10	7,15	6,55	6,55	6,55
20	7,4	7,3	7,5	8,2
30	8,3	8,8	9,7	10,4
40	10,9	12	12,5	14,2
50	14,7	15,4	16,9	19,5
	Шихтовка 33%			

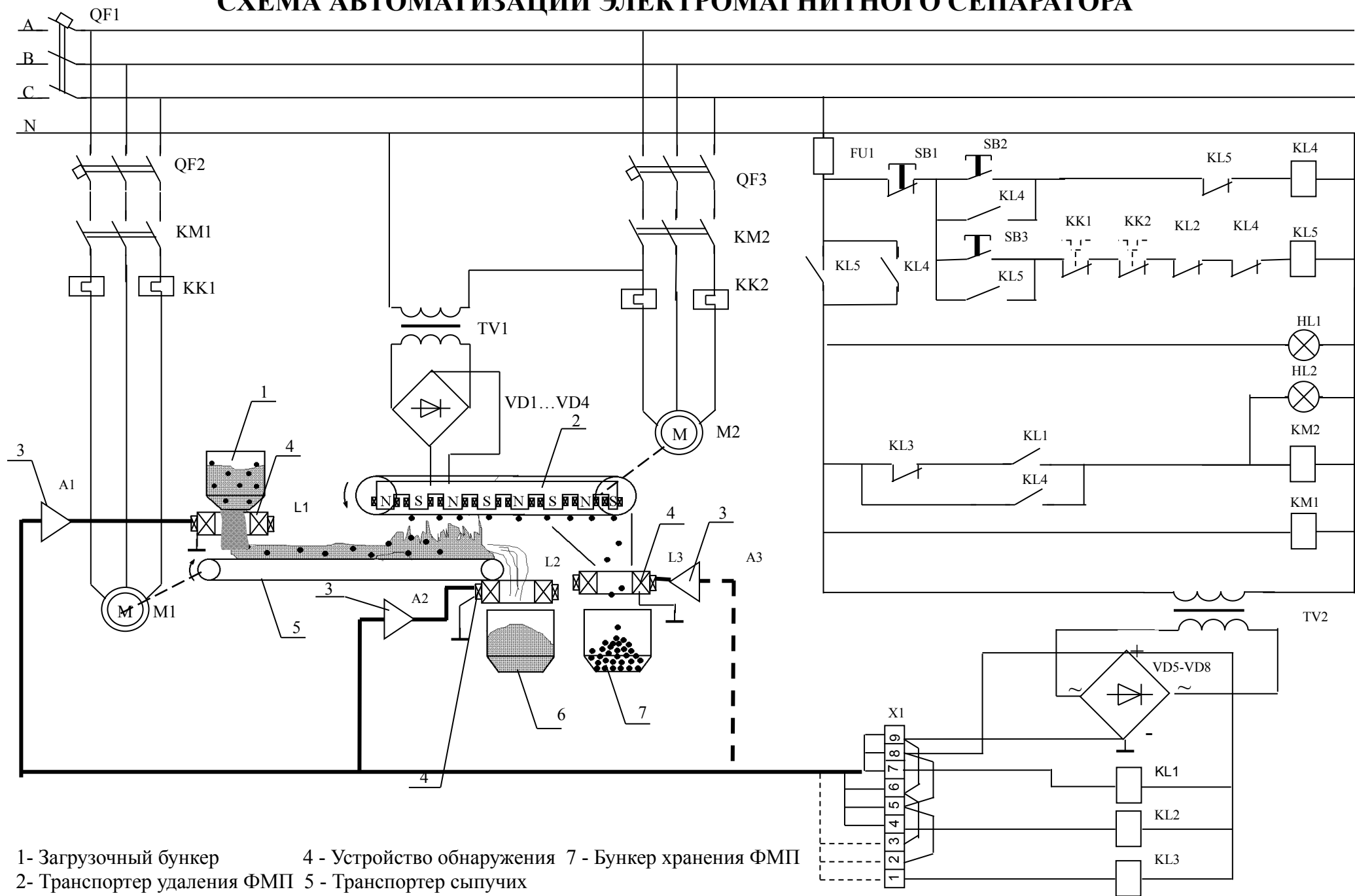
Таблица Г.6

Исследование электромагнита с шихтованным магнитопроводом (шихтовка 44%)

	Шар d=4,8мм	Шар d=8мм	Шар d=11,9мм	Шар d=19мм
Y _{max}	I, А	I, А	I, А	I, А
5	7	6,2	6,2	6,15
10	7,2	6,6	6,6	6,6
20	7,45	7,4	7,5	8,3
30	8,5	9,2	9,8	10,5
40	11,3	12	13	14
50	15	16	17,3	20,5
	Шихтовка 44%			

П Р И Л О Ж Е Н И Е Д

СХЕМА АВТОМАТИЗАЦИИ ЭЛЕКТРОМАГНИТНОГО СЕПАРАТОРА



П Р И Л О Ж Е Н И Е

УТВЕРЖДАЮ

Председатель правл. ОАО ММЭЗ

Москаленко О.И.

"18" ноября 2004г.



УТВЕРЖДАЮ

Ректор ТГАТА

Курьячковский В.Л.

"18" ноября 2004г.

[Handwritten signature]



А К Т

Мы, нижеподписавшиеся, гл. инженер ММЭЗ Пашетных В.П. зав. кафедрой "Энергетика" ТГАТА д.т.н., проф. Просвирнин В.И., проректор ТГАТА к.т.н. Масюткин Е.П., инж. Хассай Д.В. составили настоящий акт в том, что на Мелитопольском маслоэкстракционном заводе были проделаны экспериментальные исследования установки очистки зерновых сыпучих материалов от ферромагнитных тел. Обработка проводилась в течении суток, установленная мощность электромагнита 0,5кВт, объем перерабатываемых зерновых – 80т.

Экономическая эффективность от внедрения установки для очистки подсолнечника от ферромагнитных тел составила $41,822 \div 863,922$ тыс.грн/год. Расчеты представлены в приложении .

Гл. инж.

[Handwritten signature]

Пашетных В.П.

Нач. ПЭО

[Handwritten signature]

Прокопенко Е.М.

Зав.каф. "Энергетика"

[Handwritten signature]

Просвирнин В.И.

Проректор

[Handwritten signature]

Масюткин Е.П.

Инж.

Хассай Д.В.

П Р И Л О Ж Е Н И Е Ж

„УТВЕРЖДАЮ”

Председатель правления

ОАО Мелитопольский

маслоэкстракционный завод

Москаленко О.И.



ноября 2004г.

Приложение к акту №...3... от 18 ноября 2004г.

Традиционно эффективность применения тех или иных технических сред в разрабатываемых технологиях по производству продукции складывается из социального и экономического эффектов. Учет таких факторов как санитарно-гигиенические условия труда и его безопасность, потери продукции от внеплановых и аварийных ремонтов технологического оборудования и других широко освещены в соответствующей литературе. Кроме того, в приложении приведены соответствующие расчеты по эффективности применения электромагнитных устройств для очистки сыпучих материалов от ферромагнитных примесей. Прочие подробности о этих вопросах с нашей стороны излишне.

Расчет условного экономического эффекта (неточность расчетов обусловлена колебаниями цены единицы продукции в месяц и ремонтно-восстановительных работ, оценка которых зависит от сложности работ и фирмы подрядчика) от внедрения электромагнитного сепаратора на ММЭЗ.

Исходные данные:

Время простоя технологического оборудования цехов первичной очистки и экстракции вследствие попадания ферромагнитных тел (ФМТ): от 3 до 72 часов в год;

Производительность завода ~ 3,4 т/ч растительного масла;

Стоимость масла ~ 3,5 грн/л;

Зарплата подрядчика ~ 400 грн/мес;

Дополнительные материалы ~ от 1000 до 2000 грн;

Стоимость базового (разрабатываемого Хорольским машстройзаводом) сепаратора 3500грн.

Расчет:

Количество недовыпущенной продукции за время вынужденных простоев в течении года, т/год. :

$$3,4 \text{ т/ч} \cdot (3 \dots 72 \text{ ч/год}) = 10,2 \dots 244,8 \text{ т/год.}$$

Стоимость недовыпущенной продукции, т/год.:

$$10,2 \dots 244,8 \text{ т/год} \cdot 3,500 \text{ грн/т} = 35,7 \dots 856,8 \text{ тыс. грн/год.}$$

Фонд ремонтных работ по восстановлению оборудования вследствие попадания ФМТ (с учетом заработной платы 4^м подрядчикам за период восстановительных работ):

$$1000 \dots 2000 \text{ грн} + 4 \text{ чел} \cdot (3 \text{ сут.} \cdot 18,2 \text{ грн/сут.}) = 1218,4 \dots 2218,4 \text{ грн.}$$

Снижение затрат на электроэнергию за счет внедрения системы „ждущего” режима работы и потребления установленной мощности опытно-промышленного сепаратора в цехе первичной переработки составляет ~0,146 грн/т.

$$0,146 \text{ грн/т} \cdot 80 \text{ т/сут.} \cdot 30 \text{ сут.} \cdot 12 \text{ мес} = 4204 \text{ грн/год.}$$

Снижение стоимости сепаратора за счет применения „шихтованного” магнитопровода электротехническим картоном составит ~ 700 грн.

Всего фактический экономический эффект от внедрения составит

$$41,822 \div 863,922 \text{ тыс. грн/год.}$$

Представители от ТГАТА:

Руководитель работы

к.т.н. доц. Масюткин Е.П.

Соискатель степени к.т.н.

инж. Хассай Д.В.

Представители завода:

Нач. ПЭО

Прокопенко Е.М.

Гл. инженер ММЭЗ

Пашетных В.П.

Пред. правления ММЭЗ

Москаленко О.И.