

ТАВРИЧЕСКАЯ ГОСУДАРСТВЕННАЯ АГРОТЕХНИЧЕСКАЯ АКАДЕМИЯ

На правах рукописи

Кузнецов Илья Олегович

УДК [631.234: 628.97]: 635.64

**ОБОСНОВАНИЕ ЭЛЕКТРОТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ
ПАРАМЕТРОВ МАГНИТНОГО ИЗВЛЕЧЕНИЯ
ПРОДУКТОВ ИЗНОСА РАБОЧИХ ОРГАНОВ
ОБОРУДОВАНИЯ ИЗ ПОТОКОВ ДРОБЛЕНОГО ЗЕРНА**

Специальность 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

	стр.
Введение	4
1. Существующие системы извлечения ферромагнитных частиц из дробленого зерна и муки.....	9
1.1. Биохимические свойства муки.....	9
1.2. Показатели качества муки. Анализ её загрязнения.....	11
1.3. Износ трущихся поверхностей.....	15
1.4. Существующие устройства извлечения ФМЧ и их анализ..	21
1.4.1. Магнитные сепараторы с постоянными магнитами.....	22
1.4.2. Электромагнитные сепараторы.....	27
1.5. Сепараторы с насадками и наполнителями.....	28
1.5.1. Электромагнитные сепараторы типа „Циклон”, снабжен- ные насадками.....	28
1.5.2. Электромагнитный сепаратор с зернистым ферромагнит- ным наполнителем.....	32
Выводы и постановка задач исследования.....	33
2. Математические модели динамики частиц в магнитном поле электро- магнитных сепараторов	34
2.1. Магнитное поле электромагнитных сепараторов	34
2.1.1. Магнитное поле сепараторов с открытыми многополюс- ными системами (поле „Ш–образных” систем).....	34
2.1.2. Влияние сил на ФМЧ в рабочей зоне многополюсной магнитной системы	37
2.2. Электромагнитные сепараторы циклонного типа. Метод расчета	42
2.3. Магнитное поле концентраторов.....	47
2.4. Математическая модель динамики частиц в магнитном по-	

ле электромагнитных сепараторов, снабженных концен- траторами	52
Выводы	67
3. Разработка и исследования электромагнитных сепараторов для очистки дробленого зерна и муки от ФМЧ	69
3.1. Электромагнитные устройства для очистки муки	70
3.1.1. Электромагнитный циклон	70
3.1.2. Электромагнитный фильтр	72
3.1.3. Электромагнитный фильтр – сепаратор	75
3.2. Экспериментальное обоснование динамики поведения ФМЧ в области концентраторов магнитного поля	77
3.2.1. Исследование извлечения ферромагнитных частиц с по- мощью определения разности масс	78
3.3. Извлечение ФМЧ в сепараторах с открытой многополюс- ной системой	88
3.4. Исследование возможности срыва ферромагнитных час- тиц с улавливающих поверхностей электромагнитных се- параторов	90
3.5. Общая технологическая схема изготовления устройства ...	95
Заключение	98
Общие выводы	100
Список использованных источников	102
Приложения	112

ВВЕДЕНИЕ

Считается [9, 41, 62], что при потреблении хлеба, макарон, крупяных изделий и т. п. человек обеспечивает свои потребности в белках на 15%, в микроэлементах на 5–20%. Размер удовлетворения потребности в водорастворимых витаминах при ежедневном употреблении в пищу 500 г мучных изделий составляет: тиаминов на 40 %, рибофлавина на 32 %, никотинамида – 15 %.

Что касается производителей муки, то за последнее десятилетие в мукомольно-крупяной отрасли Украины происходили существенные негативные изменения. Во-первых, это связано со снижением производства сырья (зерна). Во-вторых, то перерабатывающее оборудование, которое было приобретено ранее, исчерпывает свой срок службы, а по причине слабого финансирования сельхозпроизводителя приобрести новое в хозяйствах нет возможности.

Несмотря на все это, к качеству муки как биологически ценному и наиболее дешевому на данный момент продукту, предъявляются повышенные требования: тонкость помола, содержание клейковины, а также ряд физико-химических норм, наряду с которыми особую роль занимает содержание ферромагнитных примесей (согласно стандартов на пищевые продукты, содержание примесей в зерне пшеницы и продукте её переработки – муке, по ДСТУ 40.004-99 и ГОСТу 276-60 – не должно превышать 3 мг на кг готовой продукции [65, 106, 107]).

С точки зрения медицины, попадание ферромагнитных частиц в биологические организмы вызывает желудочно-кишечные заболевания, в частности язвенные болезни желудка. Ввиду того, что технологические линии существующих предприятий не обеспечивают требуемого качества муки, решение данной проблемы является крайне актуальным.

Актуальность темы.

В разных технологических линиях переработки зерновых в продукты их частичного размола (например, разные крупы) или полного дробления (мука) участвует совокупность машин.

В процессе переработки, начиная от приема и завершая упаковкой, рабочие органы оборудования подвержены износу – в частности истиранию, откалыванию

[82, 105]. Так как основным материалом, применяемым для их изготовления служат сталь и чугун (в большей степени), то в результате износа в готовую продукцию попадают мельчайшие частицы металлов (ферромагнетиков), масса которых для всех зерновых круп, а так же муки регламентируется ГОСТами и составляет 3 мг/кг. В свою очередь обследование сельхоз предприятий по переработке зерна в крупы или муку показали фактическое превышение нормы на 10-20%. Несоблюдение этих требований влечет за собой отбраковку продукции и как следствие – её фактическое удешевление за счет использования в комбикормах.

В настоящее время, бóльшая часть технологических линий укомплектованы магнитными сепараторами, снабженными постоянными магнитами или электромагнитами, которые, как показала практика, работают неэффективно – требуют дополнительного внимания в процессе очистки улавливающих поверхностей, не позволяют включать в общую систему автоматизированного управления технологических линий, а так же конструктивно несовершенны.

Поэтому, совершенствование существующих и разработка новых электромагнитных сепараторов для извлечения ферромагнитных частиц (ФМЧ) из продуктов дробления зерновых материалов, в частности муки, является актуальной задачей.

Связь работы с научными программами, планами, темами.

Выполненные в диссертации исследования являются составной частью следующих программ и планов:

- Державної науково – технічної програми Міністерства України у справах науки і технологій 3.12 «Енерго і ресурсозбереження у сільськогосподарському виробництві»;

- Програми №1 науково – дослідних робіт Таврійської державної агротехнічної академії на 2001-2005 роки „Розробка наукових основ систем технологій і технічних засобів для забезпечення продовольчої безпеки Південного регіону України” (підпрограма 1.11.2. „Розробка та оптимізація режимів роботи електротехнологічного обладнання вилучення ферромагнітних домішок в системах переробки зерна та зернових сумішей”, державний реєстраційний номер 0102V000685).

Цель и задачи исследования.

Целью исследований является повышение качества муки путем эффективно-го извлечения ферромагнитных частиц на базе математической модели взаимодействия ферромагнитных частиц с магнитным полем.

Для реализации данной цели необходимо решить следующие задачи:

1. Анализ существующих технологий и технических средств извлечения ферромагнитных частиц из дробленого зерна и обоснование путей их совершенствования.
2. Теоретическое исследование взаимодействия магнитного поля с ферромагнитными частицами, находящимися в дробленном зерне и муки.
3. Разработка и обоснование статики и динамики ферромагнитных частиц в магнитном поле и методов расчёта электромагнитных сепараторов их извлечения.
4. Разработка устройств извлечения ферромагнитных частиц из дробленого зерна и муки, а так же экспериментальное обоснование их работы и расчета.

Объект исследований – процесс взаимодействия магнитного поля с магнитными частицами при их извлечении из дробленого зерна и муки.

Предмет исследований - закономерности процессов взаимодействия магнитного поля с магнитными частицами при их извлечении из дробленого зерна и муки.

Методы исследований. В ходе проведения теоретических исследований использованы классические законы и закономерности физики и методы математического моделирования процессов и аппаратов. Экспериментальные исследования в лабораторных и промышленных условиях проводились по известным методикам с применением соответствующих приборов и аппаратуры контроля, измерений, фиксации и ЭВМ для решения задач и обработки результатов наблюдений, а так же предусмотрено использование планирования многофакторного эксперимента.

Научная новизна полученных результатов состоит в том, что:

- получил дальнейшее развитие принцип равномерного распределения магнитного поля по всей рабочей зоне электромагнитного сепаратора за счет применения концентраторов поля;
- впервые обоснованы электротехнологические параметры электромагнит-

ных сепараторов на базе разработанной математической модели взаимодействия ферромагнитных частиц с магнитным полем;

– получила дальнейшее развитие зависимость зоны граничного влияния концентратора на ферромагнитную частицу от силы тока в обмотке сепаратора, позволяющая оптимизировать конструктивные параметры компоновки концентраторов в сепараторах.

Практическое значение полученных результатов.

1. На основании проведенных теоретических и экспериментальных исследований разработан метод расчета электромагнитных сепараторов, снабженных концентраторами поля для извлечения ферромагнитных частиц из дробленого зерна и муки.

2. Результаты исследований были использованы в сельском (фермерском) хозяйстве „Котон” Волчанского района Харьковской области и переданы в виде конструкторской документации фермерскому хозяйству „Товстоган В.О.” Волчанского района Харьковской области. Согласно результатам исследований, предложенная конструкция электромагнитного сепаратора с концентраторами поля позволяет увеличить качество извлекаемых ферромагнитных частиц из дробленого зерна и муки на 12–15% и снизить энергозатраты минимум на 27% по сравнению с существующими сепараторами БКМА, БКМЗ, ЭМ. Техническая новизна исследований подтверждена решением „Українського інституту промислової власності” с выдачей патентов на изобретение (пат. № 68105А „Електромагнітний фільтр-сепаратор”, пат. № 55735А „Електромагнітний фільтр”, пат. № 50316А „Електромагнітний циклон”).

Личный вклад соискателя заключается в получении следующих результатов:

1. Анализ законов и закономерностей поведения ферромагнитных частиц в области концентраторов магнитного поля в процессе их извлечения [57].

2. Проведение теоретических и экспериментальных исследований влияния сопротивления материала, размера и формы используемых концентраторов, силы тока в обмотке сепаратора на процесс извлечения ферромагнитных частиц из потока дробленого зерна или муки [44].

3. Разработке математических моделей извлечения ферромагнитных частиц из дробленого зерна и муки и численном их исследовании на ЭВМ [58].

4. Создание узлов и конструкций электромагнитных сепараторов, проверки их работоспособности, проведении экспериментальных исследований и разработке метода расчета.

Апробация результатов диссертации.

Основные положения работы обсуждались на научных конференциях и семинарах:

- на научно - практической конференции “Інформаційні технології в освіті” (г. Бердянск, 2001г.);

- на Международной научно - практической конференции “Проблеми енергозабезпечення та енергозбереження в АПК України” (г. Харьков, 2001г.)

- на Международной научно - технической конференции, посвященной 50-летнему юбилею факультета энергетики Таврической государственной агротехнической академии (2002г.);

- на ежегодных научно-практических конференциях Таврической государственной агротехнической академии (2001–2005г.);

Публикации.

Основное содержание диссертации опубликовано в 19 научных работах, в т.ч. 11 в специализированных сборниках и 8 в авторских свидетельствах.

Структура и объем диссертации.

Диссертационная работа состоит из введения, 3 разделов, выводов, списка использованной литературы и приложений. Полный объем диссертации – 148 страниц машинописного текста (в т.ч. 45 рис., 15 таблиц). Список использованной литературы содержит 107 библиографических наименований.

РАЗДЕЛ 1

СУЩЕСТВУЮЩИЕ СИСТЕМЫ ИЗВЛЕЧЕНИЯ ФЕРРОМАГНИТНЫХ ЧАСТИЦ ИЗ ДРОБЛЕННОГО ЗЕРНА И МУКИ

1.1. Биохимические свойства муки

Биологическая полноценность продуктов питания [9, 107] определяется не только их калорийностью, но и в значительной мере содержанием в них различных биологически активных веществ, необходимых для нормальной жизнедеятельности биологических организмов. Установлено, например, что суточная потребность человека в витамине В₁ составляет 2 мг, В₂ – 2 мг, РР – 15 мг.

Считают, что при потреблении хлеба, макарон, крупяных изделий и т. п. разные биологические организмы и человек в том числе, обеспечивают свои потребности в белках на 15%, в микроэлементах на 5–20%. Размер удовлетворения потребности в водорастворимых витаминах при ежедневном употреблении в пищу 500 г хлеба приведен в табл. 1.1.

Наиболее полезен пшеничный хлеб из обойной муки. При уменьшении ее выхода заметно снижается количество в муке витаминов, и хлеб из муки первого сорта содержит в два раза меньше тиамин и в пять раз меньше никотинамида, чем из обойной муки.

Таблица 1.1

Степень удовлетворения потребности человека в витаминах, % от общей потребности

Хлеб	Тиамин	Рибофлавин	Никотина-мид
Ржаной формовой из муки:			
обойной	40,0	32,5	15,0
Пшеничной	54,0	30,5	101,0
Формовой пшеничный из муки второго сорта 85%-ного выхода	50,0	20,0	53,0
Батоны простые из пшеничной муки первого сорта 72%-ного выхода	25,0	17,0	22,4

Зерно содержит биологически активные вещества в небольшом количестве, а распределены они по анатомическим частям так, что при переработке эти вещества в основном уходят в отруби или мучку. Водорастворимые витамины сконцентрированы в оболочках, алейроновом слое и зародыше. В результате этого в сортовую муку или крупу переходит лишь небольшая доля витаминов от общего содержания их в зерне. Поэтому важное значение имеет повышение питательной ценности муки и крупы. Для этого при переработке зерна применяют различные методы, обеспечивающие вовлечение биологически активных веществ в муку и крупу. Одним из таких методов является гидротермическая обработка (табл. 1.2).

Таблица 1.2

Содержание витаминов (мг) в муке 70%-ного выхода

Кондиционирование	Тиамин	Рибофлавин	Никотинамид
Холодное	0,28	0,11	2,75
Горячее	0,34	0,14	3,14
Скоростное	0,40	0,14	3,74

Регулируя параметры режима гидротермической обработки, можно обеспечить различное содержание водорастворимых витаминов в муке высоких сортов. Оптимальные значения влажности зерна, длительности отволаживания, температуры нагрева зерна и длительности пропаривания, по-видимому, соответствуют тем, при которых жизнедеятельность зародыша и клеток алейронового слоя зерна максимально активизируется в данных условиях. При этом выходе муки, её физико-механические свойства следующие: насыпная масса составляет $0,7...0,85 \text{ т/м}^3$, а угол естественного откоса – $40...50^\circ$.

Имеется и второй путь решения этой проблемы. Можно при формировании сортов муки на мукомольном заводе учитывать содержание в индивидуальных потоках муки с технологических систем витаминов, белка, незаменимых аминокислот, микроэлементов и т. п. и регулировать их содержание в муке посредством смешивания этих потоков.

Резко возрастает содержание всех биологически активных веществ в муке при извлечении ее более 70%. Таким образом, чем выше выход муки, тем выше и ее биологическая полноценность. Но одновременно увеличивается содержание в ней

клетчатки, не усваиваемой биологическими организмами.

Посредством рационального объединения потоков муки с разных систем технологического процесса можно получить такие специальные сорта, как высокобелковая, высоколизиновая мука и т. п.

1.2. Показатели качества муки. Анализ её загрязнения

На ряду со многими показателями качества муки немаловажную роль играет содержание ферромагнитных примесей (ФМП), например, согласно ДСТУ 40.004-99 и ГОСТ 276-60 [8, 45, 49, 106] в муке и товарной пшенице, их содержание не должно превышать 3 мг/кг. Данные требования объясняются тем, что попадание ФМП в организм человека вызывают разного рода желудочно–кишечные заболевания.

В процессе получения муки [3, 4, 19, 29, 34], зерно проходит ряд технологических операций, среди которых выделяются три основных (рис.1.1): подготовка зерна к переработке, дробление и сепарация продуктов размола. Для этого применяются различные машины (рушанки, сепараторы, измельчители мельничного и ударного типов, дозаторы и т.д.), устройства транспортирования (транспортеры, пневмотрассы, - компрессоры, - вентиляторы и т.п.) и системы по извлечению ферромагнитных примесей. Работа перечисленного оборудования сопровождается износом различных трущихся пар (зерно – молотки, зерно – шнеки, зерно – трубопроводы и др.), а так же случайными попаданиями примесей, что является источником загрязнения муки [40, 105].

При поступлении в размольное отделение зерно должно иметь следующие показатели качества:

- влажность в пределах $15 \div 16,5\%$ для пшеницы, $13,5 \div 15\%$ для ржи, в зависимости от конкретных свойств зерна;
- содержание сорной примеси не более 0,4%, а так же вредной примеси не более 0,05% (минеральная примесь не допускается);
- содержание металломагнитных примесей на один кг товарной пшеницы допускается не более 3 мг. Величина отдельных частиц не должна превышать 0,3мм, а их масса – 0,4 мг [ДСТУ 40.004-99];

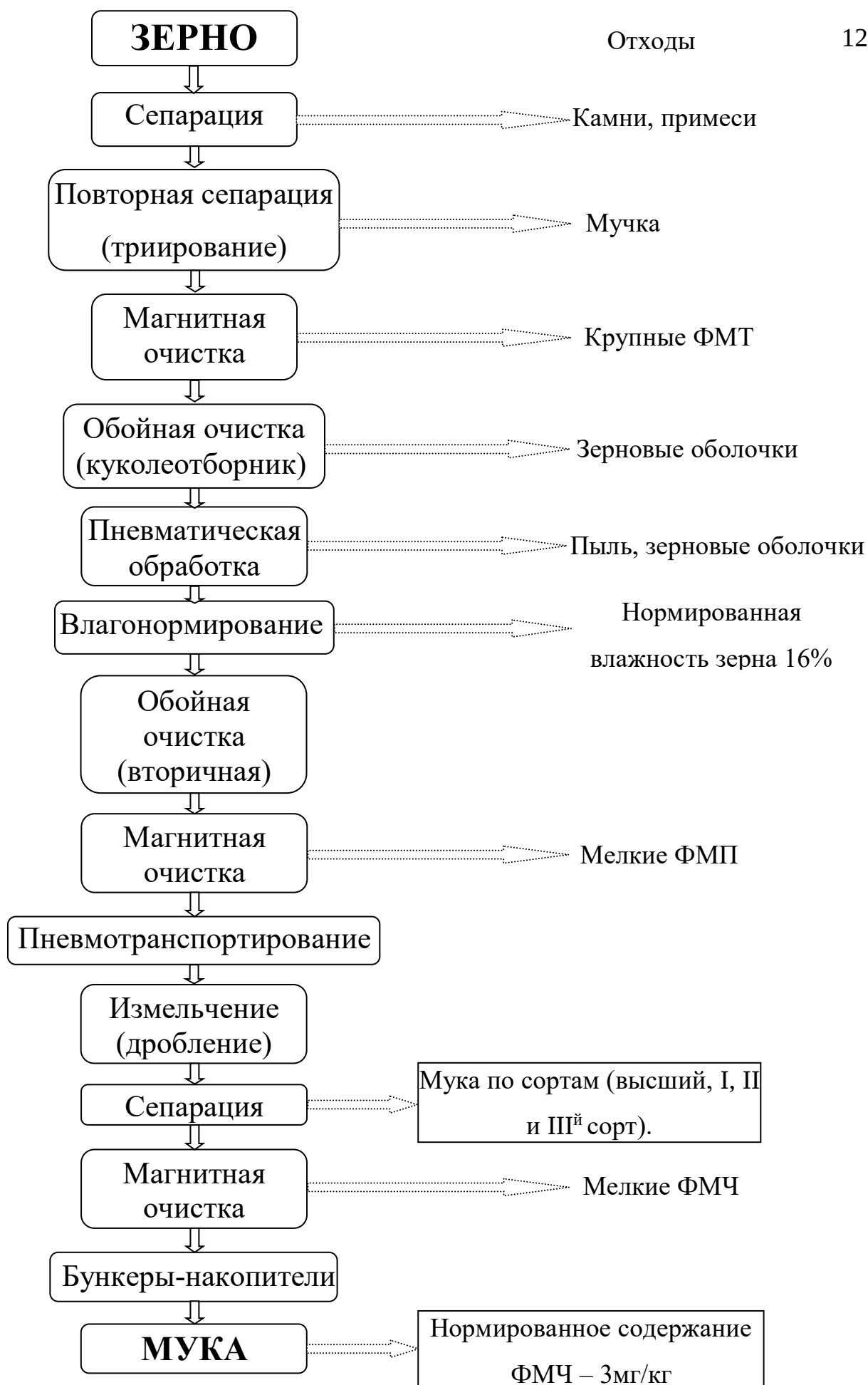


Рис. 1.1. Технологическая схема переработки зерновых на муку

- содержание зерновой примеси не более 4%;
- содержание сырой клейковины для пшеницы при сортовых помолах не менее 26%, при обойном помоле не менее 20%.

Обследование ряда зерноперерабатывающих комбинатов Запорожской и Херсонской областей и наши расчеты показали следующее:

- содержание ферромагнитных частиц (ФМЧ) в готовой продукции превышает норму на 10 – 20%;
- обследованные предприятия статистику наличия ФМЧ в готовой продукции не производят по разным причинам, а некоторые даже не проводят анализы на их нормируемое содержание;
- применяемые сепараторы не позволяют извлекать весь диапазон ферромагнетиков и их количество недостаточно для используемых технологических линий;
- несвоевременная и некачественная очистка осадительных поверхностей сепараторов.

Для детального анализа линий переработки зерна на муку предлагается рассмотреть два предприятия: Мелитопольский элеватор и Каховский мукомольный комбинат.

Полученные нами результаты показали (рис. 1.2) превышение нормативов на

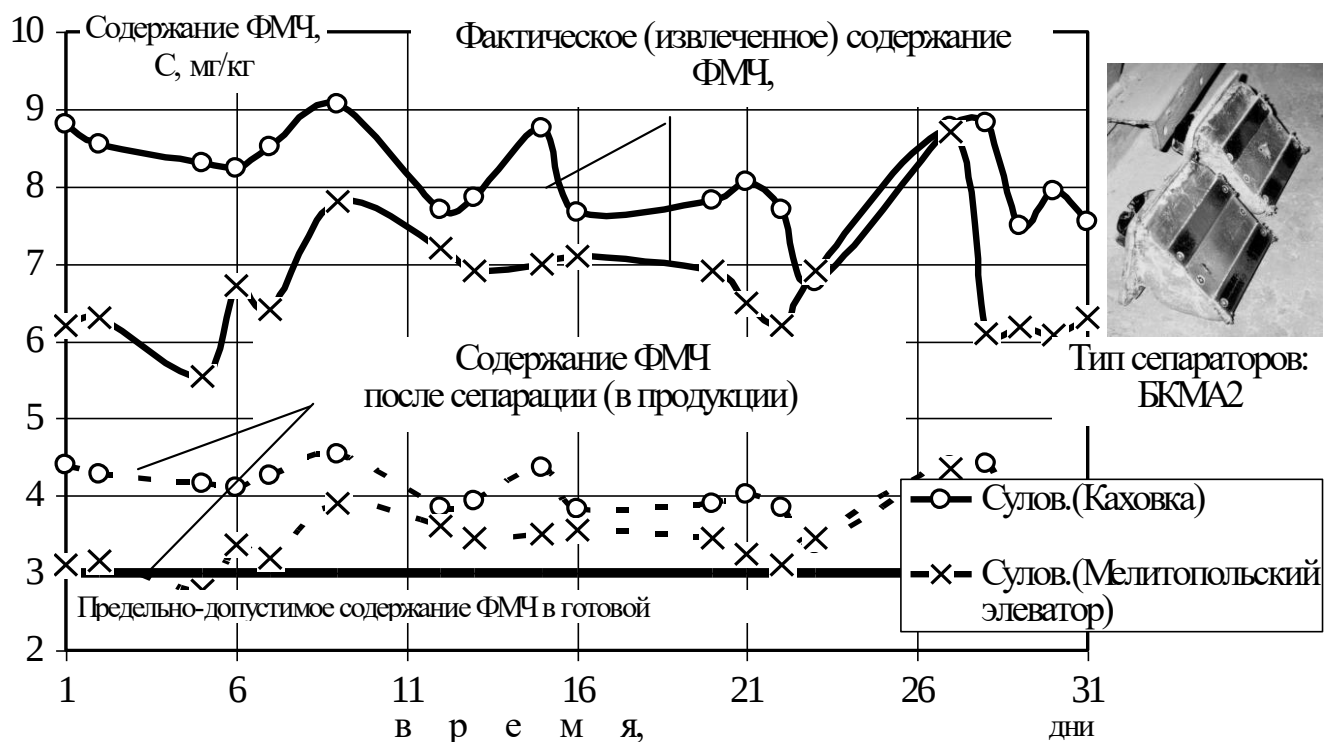


Рис. 1.2. Содержание ФМЧ в муке на обследованных предприятиях

10–20%, а также имели место „залповые выбросы” примесей, которые сопровождались предварительными ремонтами или плановыми технологическими осмотрами оборудования.

В качестве устройств извлечения в обеих линиях используются магнитные сепараторы типа БКМА (на Каховском мукомольном комбинате дополнительно на линии приёма зерна стоят сепараторы марки ТПМ).

Рассмотрев гранулометрическую характеристику уловленных примесей видно (рис.1.3), что на качество муки влияют частицы размером до 1 мм, составляющие 80 – 90% от общего объема (основное количество ФМЧ находится в диапазоне 100 мкм, минимальный размер частиц – в пределах 5 мкм). Это не случайные попадания, а продукт износа трущихся поверхностей технологических машин (молотков, валов в подшипниках, зерна в трубопроводах, вращающихся частей в технологических машинах).

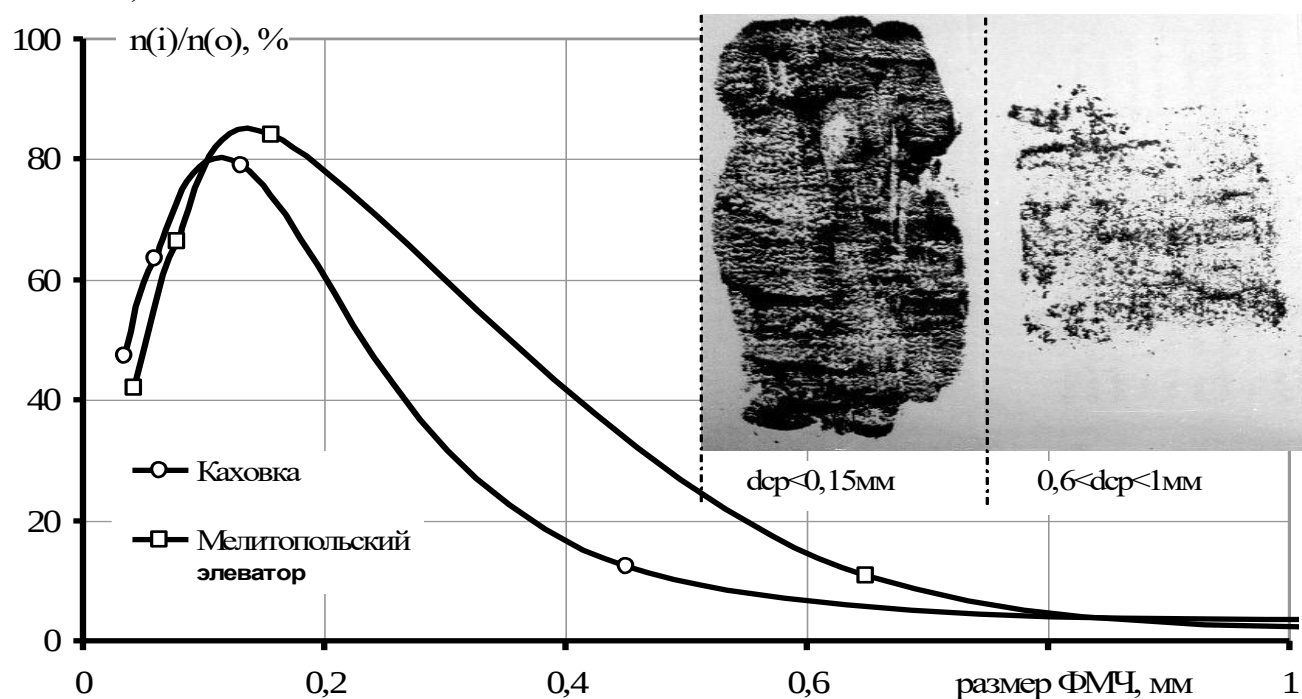


Рис.1.3. Гранулометрический состав ФМЧ

Обследование предприятий позволяет сделать основные выводы:

- существующие магнитные и электромагнитные сепараторы не позволяют извлекать мелкие ФМЧ, так как конструктивно рассчитаны на крупные тела;
- основное количество составляют частицы, размер которых не превышает

1мм (80–90%), представляющие собой продукт износа оборудования – сегмент наиболее трудно извлекаемых частиц.

1.3. Износ трущихся поверхностей

Высокое качество работы, производительность и энергоемкость оборудования может стабильно сохраняться при условии износостойкости и долговечности всех его деталей. Из всех деталей измельчителей наименьшей износостойкостью обладают их молотки, контрмолотки, ножи, противорезы. В зависимости от материала, термообработки, условий эксплуатации молотки служат всего от 70 до 280 часов [67, 105]. Примерно таков же срок службы контрмолотков. Затупление же лезвий ножей режущих аппаратов происходит настолько интенсивно, что в ТО-1, проводимого через 60 часов, включаются обязательные операции по проверке и заточке лезвий ножей.

При износах молотков и контрмолотков изменяются их геометрические и динамические параметры [10, 46]. Эти изменения деталей молотковых аппаратов, так же как и затупление лезвий и противорезов ножевых аппаратов, сопровождаются ухудшением качества измельчения зерна на муку, снижением, как правило, производительности и повышением энергоемкости. Поэтому для повышения показателей работы измельчителей и стабильности сохранения их весьма важным является повышение износостойкости, долговечности и ремонтпригодности рабочих деталей их измельчающих аппаратов. Отмеченное позволяет в качестве основных задач считать изучение показателей интенсивности износа, изменений геометрических и динамических параметров в процессе износа рабочих деталей измельчающих аппаратов, влияние этих изменений на показатели работы измельчителей, основных приемов повышения износостойкости и долговечности деталей.

Показатели интенсивности износа и износостойкости молотков дробилок.

Интенсивность износа молотков обычно оценивают по величине снижения массы молотков из-за износа, отнесенной к продолжительности времени работы [105]:

$$i_{и1} = \frac{G_1 - G_2}{t}, \quad (1.1)$$

или к единице массы измельченного материала:

$$i_{и2} = \frac{G_1 - G_2}{G_M}, \quad (1.2)$$

где G_1, G_2 – масса молотка, соответственно в начале и в конце опыта, г;

t – продолжительность опыта, ч;

G_M – масса материала, измельченного за время опыта, отнесенная к одному молотку, т.

Первый из показателей $i_{и1}$ нельзя использовать для сопоставления интенсивности износов молотков дробилок с неодинаковыми производительностями Q (т/ч). В этом отношении показатель $i_{и2}$ лучше; однако и он, как и первый, не применим для дробилок, измельчающих зерно с неодинаковой степенью измельчения λ и с неодинаковыми физико-механическими свойствами. Поэтому судить об интенсивности износов молотков по показателям $i_{и1}$ и $i_{и2}$ нельзя также, как нельзя судить об износостойкости молотков только по продолжительности времени t износа, или по величине измельченной ими массы (G_M) до достижения предельно допустимой величины износа молотков. Непригодны эти показатели и для оценки эффективности применения приема или совокупности приемов повышения износостойкости молотков. Необходимость разработки улучшенных показателей очевидна.

В связи с тем, что энергия, затрачиваемая на износ, является некоторой частью общей энергии, затрачиваемой на измельчение материала (зерна), было предположено [30, 105], что показатель интенсивности износа молотков целесообразно определять как отношение уменьшения массы молотка из-за износа ($G_1 - G_2$) к работе Аизм (Дж), затрачиваемой на измельчение материала с определенными (заданными) физико-механическими свойствами:

$$i = \frac{G_1 - G_2}{\xi_M \cdot A_{изм}}, \quad (1.3)$$

где ξ_M — коэффициент изнашивающего действия измельчаемого материала.

Коэффициент ξ_M введен в формулу (1.3) для учета различия абразивного и

коррозийного воздействия на молотки измельчаемых материалов, обуславливающего неодинаковую интенсивность их износа. Коэффициент изнашивающего действия представляет собой отношение массы эталонного материала $G_{мэ}$ к массе измельчаемого $G_{ми}$, вызывающей такой же износ молотка данной конструкции (формы, размеров, материалов, термообработки):

$$\xi_m = \frac{G_{мэ}}{G_{ми}}. \quad (1.4)$$

По аналогии с соответствующим коэффициентом $\xi_{и}$ для лезвий ножей измельчителей, коэффициент ξ_m должен характеризовать способность измельчающего материала изнашивать молоток. Чем интенсивнее изнашиваются молотки при измельчении данного материала, тем выше коэффициент ξ_m . Значения ξ_m для молотков не известны и для определения их следует провести серию специальных опытов.

При испытании на износостойкость молотков вместо значения $A_{изм}$ (см. формулу 1.3) можно подставить расход энергии (работу) на измельчение ηA , определяемый как произведение общего коэффициента полезного действия η дробильной установки на расход энергии A , учитываемый электросчетчиком щитка дробилки, тогда:

$$i = \frac{G_1 - G_2}{\xi_m \cdot \eta \cdot A}. \quad (1.5)$$

В соответствии с основным законом измельчения П. А. Ребиндера, как отмечалось выше, работу, затрачиваемую для измельчения зерна на муку, можно с достаточной степенью точности считать пропорциональной величине вновь образуемых поверхностей [105] :

$$A_{изм} = c \cdot G_m \cdot (\lambda - 1) - \eta \cdot A, \quad (1.6)$$

где c – работа, затрачиваемая на образование новых поверхностей при измельчении 1 кг массы со степенью измельчения λ , Дж/кг;

G_m — масса материала, измельченного одним молотком, кг;

При известных значениях G_1 , G_2 , G_m , c , λ , ξ_m показатель интенсивности износа может быть вычислен по формуле:

$$i_{и} = \frac{G_1 - G_2}{\xi_M \cdot c \cdot G_M \cdot (\lambda - 1)}. \quad (1.7)$$

Усредненное значение удельного износа молотка за весь период работы до предельно допускаемого износа молотков:

$$i_{ис} = \frac{G_H - G_{и}}{\xi_M \cdot A}, \quad (1.8)$$

где G_H и $G_{и}$ — масса молотка соответственно нового и изношенного до допускаемого предела, г.

Показатель износостойкости $k_{и}$ можно определить как величину, обратную среднему значению удельного износа (молотка) до допускаемого предела:

$$k_{и} = \frac{\xi_M \cdot A}{G_H - G_{и}} = \frac{\xi_M \cdot c \cdot G_M \cdot (\lambda - 1)}{G_H - G_{и}}. \quad (1.9)$$

Если в процессе испытаний дробилки будет изменяться и производительность Q_{Mi} , и продолжительность времени работы t ; с разной производительностью, и степень измельчения λ_i , и физико-механические свойства измельчаемого материала, характеризующиеся в этом случае коэффициентами c_i и ξ_{Mi} , то показатель износостойкости молотков можно вычислить по формуле [105]:

$$k_i = \frac{\sum_{i=1}^{i=n} \xi_{Mi} \cdot c_i \cdot G_{Mi} \cdot t_i \cdot (\lambda_i - 1)}{G_H - G_{и}}. \quad (1.10)$$

По приведенным зависимостям (1.4 – 1.10) могут быть определены значения $i_{и}$ и $k_{и}$ также для контрмолотков и дек дробилок.

Находясь под абразивным воздействием измельчаемого материала молотки дробилок изнашиваются так, что существенно изменяются их геометрические параметры – форма и размер.

По результатам исследований П.В. Андреева, износы рабочих граней молотков дробилок 50/63 (Германия) вызывает (рис.1.4) с одной стороны снижение производительности и повышение удельного расхода электроэнергии, с другой – увеличение расхода металла самих молотков. Изменение формы изношенной грани молотка в зависимости от массы измельченного зерна по результатам опытов П.В. Ан-

дреева.

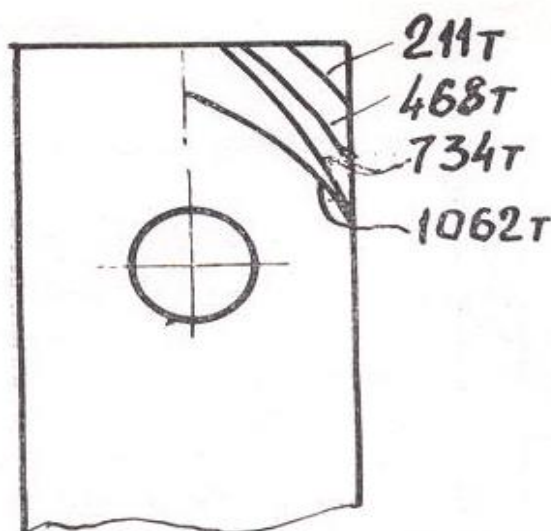


Рис. 1.4. Формы изношенной грани молотка дробилки 50/63 (Германия) после дробления 211 ... 1062 т зерна

В соответствии с заводскими инструкциями [24] допускается, чтобы изношенная поверхность одной грани доходила до середины торца молотка, а противоположная ей грань проходила не ближе 10 мм от отверстия. По достижении предельно допустимых износов молотки поворачивают на своих пальцах для использования остальных неизношенных граней.

Исследованиями [30, 70, 105] обнаружено, что интенсивность износа молотков, установленных на разных местах по длине барабана дробилки, не одинакова. Наиболее интенсивно изнашиваются молотки, расположенные на концах барабана, которые работают непосредственно возле боковых стенок молотковой камеры (рис. 1.5). Объясняется это тем, что измельчаемый материал тормозится боковыми стенками камеры, вследствие чего скорость крайних молотков относительно обрабатываемой массы в этих местах значительно больше, чем в остальных местах камеры. Для снижения интенсивности износов кромок молотков диаметр крайних дисков барабана дробилки увеличили до 485 мм. При этом износ крайних молотков уменьшился с 3,5 до 2,9 г (рис. 1.5, а).

Молотки изнашиваются неравномерно и в средней зоне дробильной камеры (рис. 1.4, б и 1.4, в). Не одинаковая интенсивность износа молотков, расположенных в этой зоне дробильной камеры (см. рис. 1.4, б), объясняется неравномерностью распределения измельчаемого материала по ширине камеры. Закономерность распределения зерновых по ширине дробильной камеры подробно исследовал И. И. Ревенко. Для достижения равномерного распределения массы его предложены специальные конструкции дробилок, измененное расположение молотков по ширине камеры, а для существенного снижения износа молотков, он считает, что их следует делать шестигранной формы.

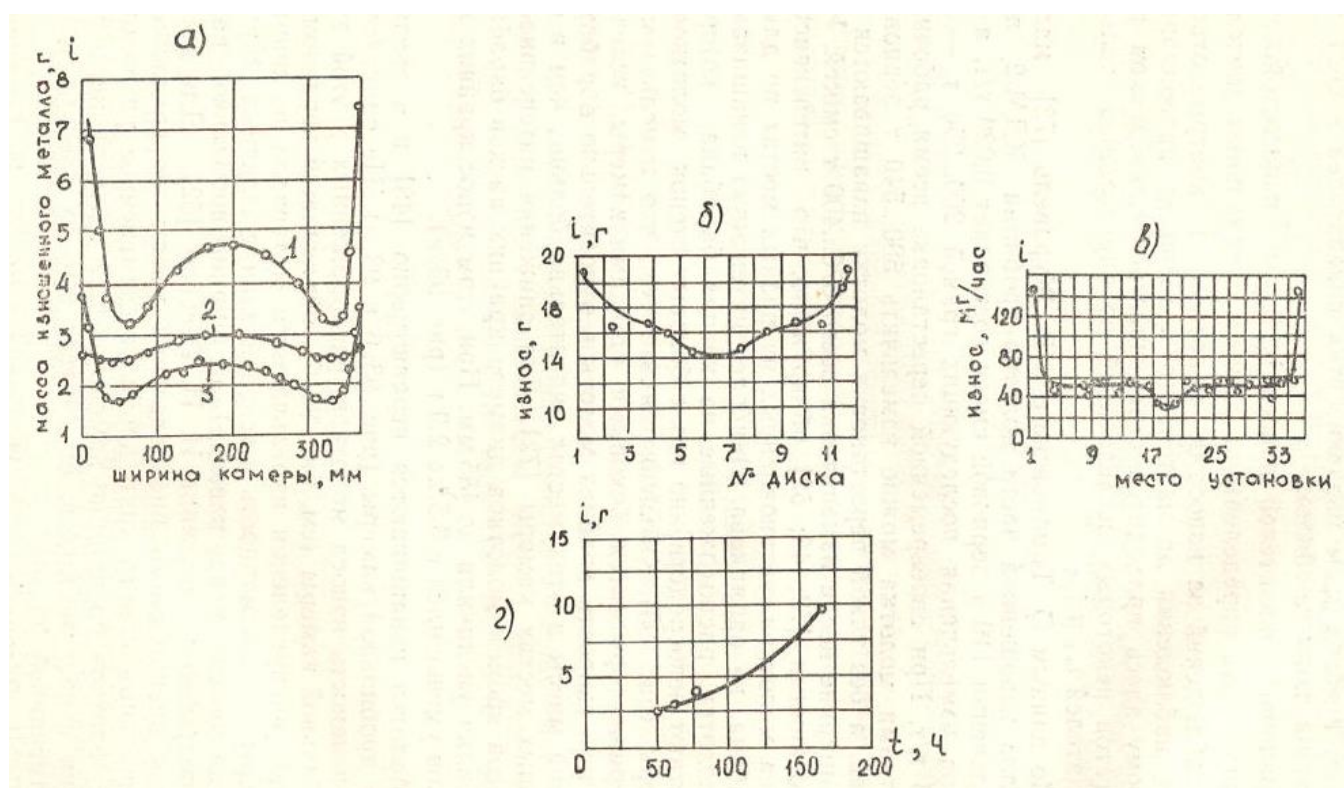


Рис. 1.5. Износ молотков дробилки: а – КДУ-2,0 (1, 3 – серийных, 2 – с крайними дисками барабана увеличенного диаметра); б – ДДМ-5; А-1 ДДР; г – изменение величины износа i молотков дробилки А-1 ДДР в зависимости от продолжительности времени t работы

По данным О. Тимановского и В. Журавель масса металла изношенной части молотка дробилки при измельчении 110 т зерновой смеси составляет 0,020 г/т, а в период измельчения последующих граней 200...250 т — до 0,046 г/т.



При своевременной перестановке всеми рабочими участками молотка можно измельчить 500...540 т зерновых смесей, а без такой перестановки молотки изнашиваются по всей ширине после измельчения всего 370...400 т смесей.

В свою очередь наши исследования показали [60, 80, 81], что при работе измельчителей на зерноперерабатывающих комбинатах фактический износ составил от 0,8 г/т до 0,875 г/т при измельчении 250 – 350 т зерна и смесей (рис.1.6).

Рис.1.6. Изношенный молоток дробилки

Таким образом, практические исследования раскрывают причину превышения предельно допустимого содержания ФМЧ в готовой продукции.

1.4. Существующие устройства извлечения ФМЧ и их анализ

ФМЧ из дробленого зерна и муки извлекают магнитными сепараторами [60, 78, 93]. Конструктивно их подразделяют по следующим основным признакам:

- по способу транспортирования продукта в области извлечения – с использованием гравитационных сил (самотеком) или принудительно (вибrolотковым или ленточным транспортером – используют при перемещении зерновых, пневмотранспортом – для круп и муки);
- по способу наведения магнитного поля – при помощи постоянных магнитов или электромагнитов (рис.1.7);

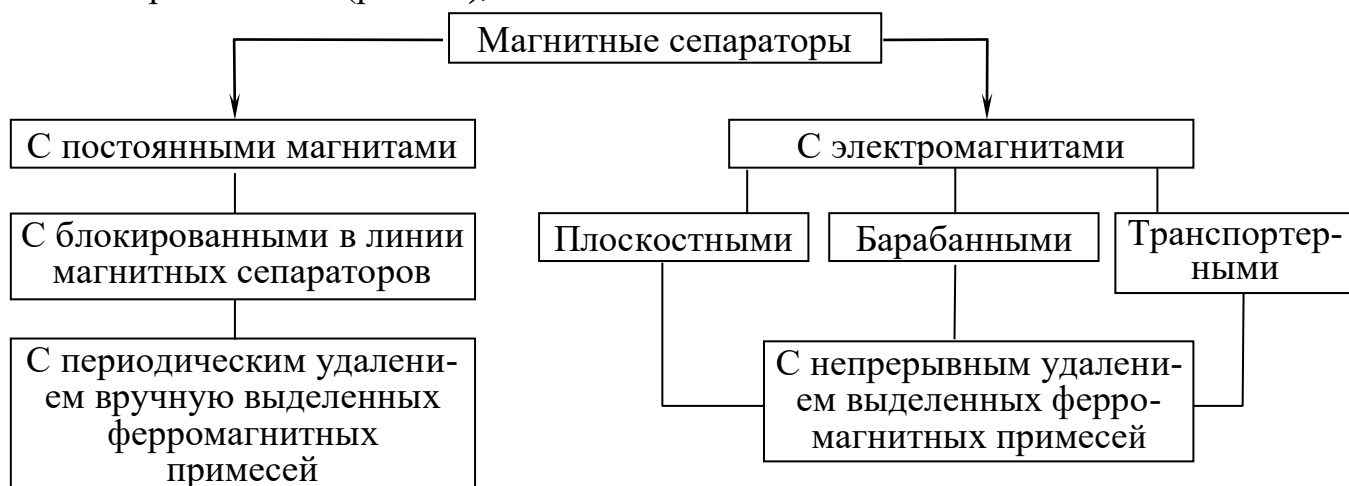


Рис. 1.7. Классификация магнитных сепараторов

– по способу взаимодействия ФМЧ с магнитом – контактный или бесконтактный;

– по способу удаления извлеченных ферромагнитных примесей – ручная или механическая очистка.

На мукомольных предприятиях магнитная защита обязательна на всех этапах технологического процесса получения круп или муки. В исследованиях Просвирникова В.И. и Хассая Д.В. [60, 75, 77] были широко представлены устройства и системы для извлечения ферромагнитных тел (размер которых превышает 1 мм), поэтому вопрос первичной очистки зерна, поступающего в размольное отделение в работе рассмотрен не будет.

Совершенствование конструкций магнитных сепараторов связано с применением новых типов высокопроизводительных конструкций электромагнитных сепараторов. Отдельным вопросом при разработке магнитных сепараторов стоит способ очистки рабочей зоны магнитов.

1.4.1. Магнитные сепараторы с постоянными магнитами

Основной рабочий орган аппаратов и колонок – набор подковообразных магнитов, изготавливаемых из сплава Магнико. В последние годы все большее применение находят сплавы Алнико, Ални, оксидно-бариевые магниты с большой подъемной силой.

Кроме силы магнитного поля, улавливающая способность магнитных установок зависит от скорости движения мучнистой массы в зоне магнитного поля, которая должна быть минимальной. Много значит равномерность распределения потока смеси по длине магнитов – толщина слоя для зерна не более 10 мм и для муки – 5÷7 мм.

На мукомольных предприятиях магнитные аппараты устанавливают в соответствии с действующими нормами [22, 25, 26, 28, 39, 42, 43, 91, 93] и Правилами ведения технологического процесса (табл.1.3).

Таблица 1.3

Нормы (временные) установки магнитных сепараторов на мукомольном и крупяном заводах

Основные места установки магнитных сепараторов	На единицу измерения продукции, т/сутки	Норма длины фронта магнитного поля, м	
		для мукомольного завода	для крупяного завода
После первого пропуска зерна через сепаратор	Магниты устанавливаются блоками в два ряда по всей ширине выходного отверстия сепаратора		
Перед каждым пропуском зерна через обочные и другие машины ударного действия	100	0,8	0,8
Основные места установки магнитных сепараторов	На единицу измерения продукции, т/сутки	Норма длины фронта магнитного поля, м	
		для мукомольного завода	для крупяного завода
Перед каждым пропуском зерна через зерновые щеточные машины	100	0,4	÷
После завершения очистки зерна перед подачей его в (шелушильное) размольное отделение	100	0,5	0,5
Перед вальцевыми станками I драной системы	100	1,0	1,0
Перед вальцевыми станками всех других систем	На 1 м длины вальцов	0,4	0,4
Перед бичевыми вымольными машинами	Перед каждой машиной	0,4	÷
Мука сортовых помолов	100	0,8	÷
Мука обойных помолов	100	1,0	÷
Мука продовольственная	100	1,0	÷
Кормовые продукты и мучка	100	0,8	0,8

Магнитная колонка БКМА2-5. В цельнометаллическом корпусе 7 колонки (рис.1.8) установлен регулятор сыпи продукта и два блока наборов магнитов. Регулятор сыпи состоит из шарнирно закрепленного клапана 2 и винта 1, фиксирующего его положение.

Блоки 8 магнитов шарнирно закреплены в опорах станины и могут поворачиваться относительно оси 5. Это позволяет выводить магниты наружу из колонки для очистки от ферромагнитных частиц (на рис.1.8. пунктиром показано положение магнитов в момент очистки) . Положение блоков в рабочем состоянии фиксируют рукояткой 4. В рабочем состоянии поверхность полюсов закрыта латунным экраном 3. Для аспирации колонки в нижней части боковой стенки устроены жалюзи для притока воздуха, а через отверстия в крышке воздух отсасывается в аспирационную сеть.

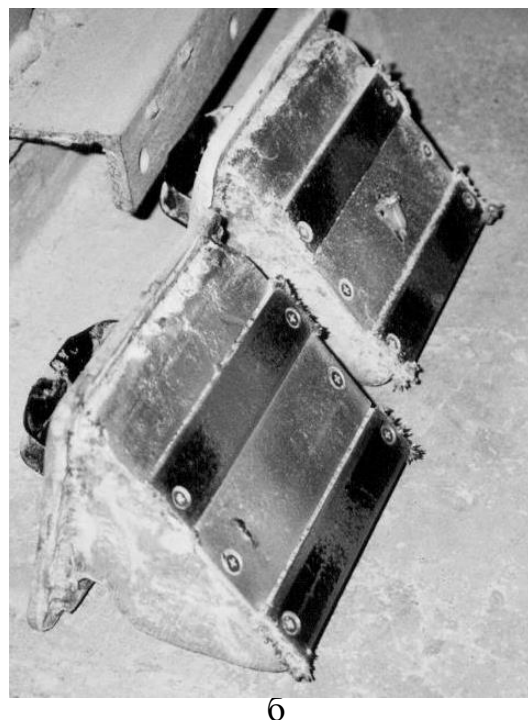
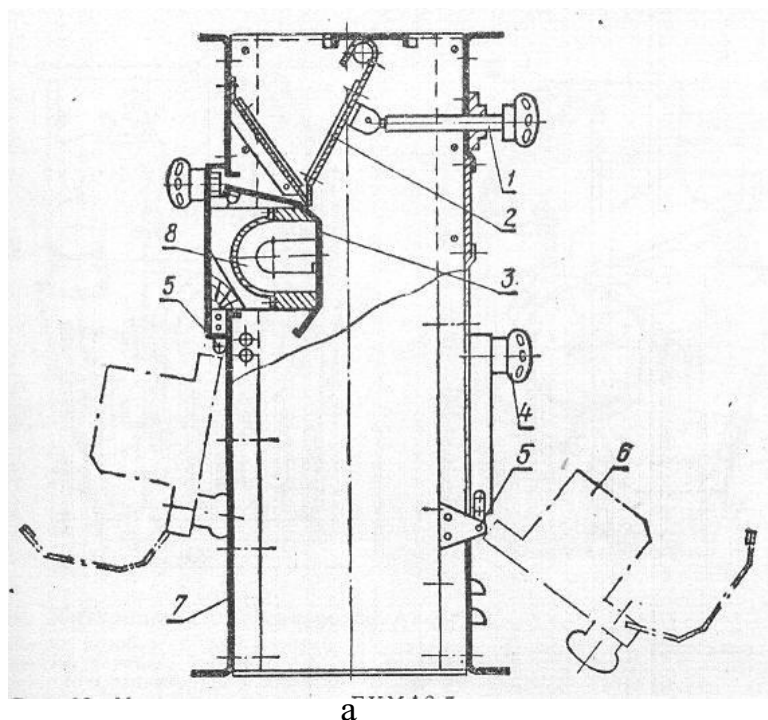


Рис. 1.8. Магнитная колонка БКМА2-5:

а – общая конструктивная схема;

б – фото магнитной колонки БКМА2-5

Магнитная колонка БКМЗ-7. В немагнитном корпусе (рис.1.9) установлено

в три ряда шесть взаимозаменяемых блоков 4 магнитов. Мучнистый материал по устройству 1 равномерно распределяется по всей длине магнитного поля. Для снижения скорости перерабатываемого материала в зоне действия магнитного поля распределительное устройство и плоскость магнитных полюсов устанавливают под углом 40° к горизонтали, а самотечную трубу под углом 90° к распределительному устройству 1. Очищенное от ферромагнитных частиц зерновая или мучнистая смеси выводится из аппарата по каналу 5. Для удаления ФМЧ наборы магнитов поочередно выдвигают и очищают вручную. Смотровые люки 2 и 3 предназначены для наблюдения за работой колонки.

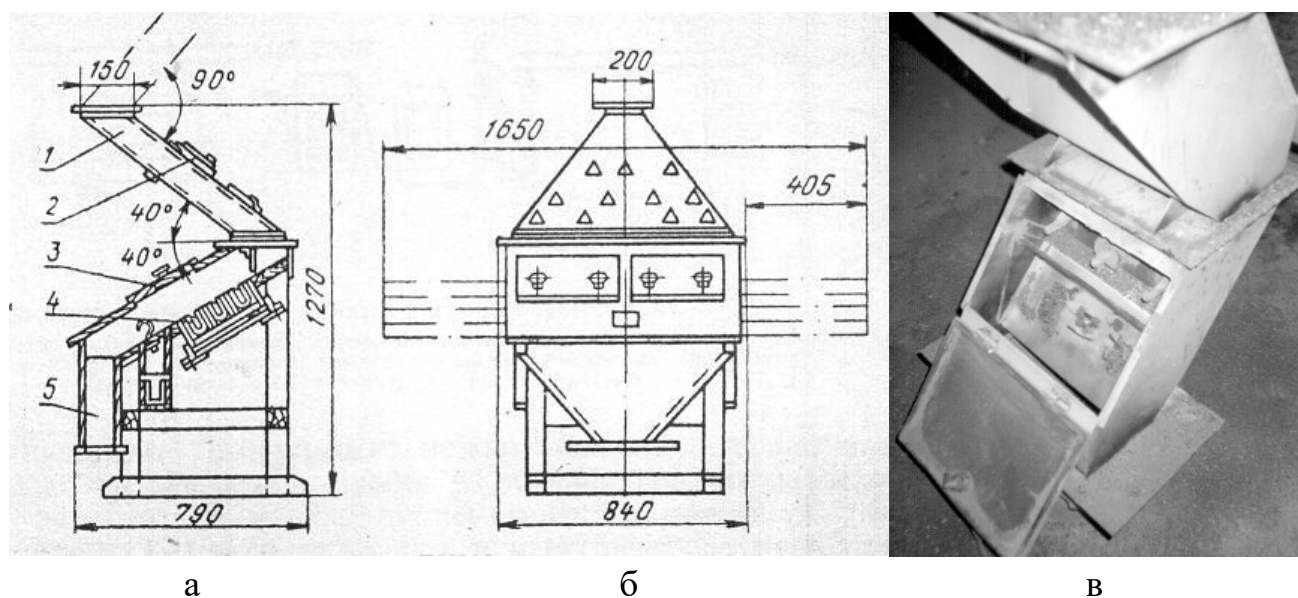


Рис. 1.9. Магнитная колонка БКМЗ-7:

а – технический эскиз (вид с боку);

б – технический эскиз (вид спереди);

в – фото магнитной колонки БКМЗ-7

Магнитные колонки БКМ [11, 16, 83] выпускают в нескольких модификациях (таблица 1.4).

Техническая характеристика магнитных колонок

Показатели	БКМА2 -1,5	БКМ2-3	БКМ2-5	БКМ2- 7,5	БКМ3-7	БКМ4-5	БКМП2 -3
Число магнитов	12	24	40	60	84	80	24
Длина одной магнитной линии, мм	150	300	500	750	700	500	300
Число магнитных линий	2	2	2	2	3	4	2
Масса, кг	16,5	27,0	30,8	55,7	113,5	80,0	29,0

Сепараторы серии ТПМ (ТПМ-152 -280, -685; ТПМ-219, -380, -920).

Трубные сепараторы (рис.1.10) размещаются в вертикальные транспортные пути. Материал подается через входное отверстие на магнитный корпус, где улавливаются ферромагнитные частицы и возвращаются выходом в трубопровод. Магнитный корпус состоит из двух цилиндрических магнитов, где находятся постоянные магниты. Для образования магнитного поля кругового кольца из ориентированного феррита типа „Дурокс 330”. Очистка магнитов проводится вручную при повороте магнитного корпуса наружу из шкафа.

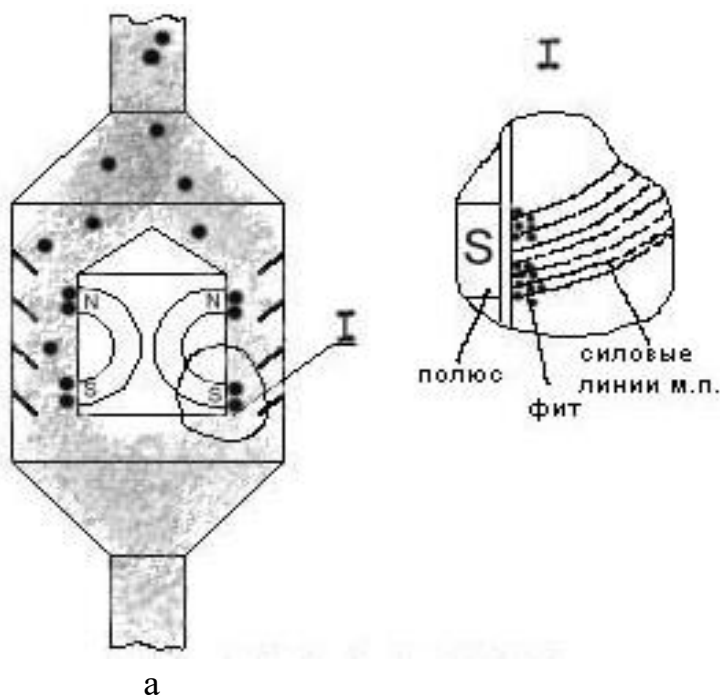


Рис. 1.10. Магнитный сепаратор ТПМ:

а – эскиз;

б – фото сепаратора

Таким образом, проанализировав особенности конструкций и принцип действия сепараторов на постоянных магнитах необходимо выделить их положительные и отрицательные стороны. К *достоинствам* относятся такие факторы, как: отсутствие энергозатрат на процесс сепарации, возможность применения в пожароопасных помещениях, большое количество типоразмеров. В свою очередь *недостатки* таковы: невозможно их включение в общую систему автоматизированного управления, неравномерное распределение магнитного поля по всей рабочей зоне сепаратора, очистка уловленных примесей только в ручную, отсутствие контроля периодичности регенерации улавливающих поверхностей.

На основании представленного анализа, одним из перспективных направлений является применение электромагнитных сепараторов, позволяющие ликвидировать выше указанные недостатки.

1.4.2. Электромагнитные сепараторы

Разработка данного типа сепараторов нашло широкое применение как в сепарации сельхоз продукции для извлечения ферромагнитных примесей, так и в промышленности, в частности горнорудной при обогащении железных руд, очистке металлодержащих газов и т.д. В настоящее время исследованием данного типа устройств занимается ряд известных ученых [2, 13, 47, 66, 69, 96-99], некоторые конструкции которых представлены ниже.

В электромагнитных сепараторах источниками создания магнитного поля являются электромагниты, состоящие из сердечника и обмотки, подключаемой к источнику постоянного тока.

Электромагнитный сепаратор ТЭМ.

ТЭМ-152 (280, 427, 685), ТЭМ-219 (380, 596, 920), ТЭМ-273 (480, 882, 1050). $Q = 20$ (60) т/ч; $m = 24$ (72) кг. Завод мельничных машин к.п. Пардубице НИИПХТ Градец Кралове.

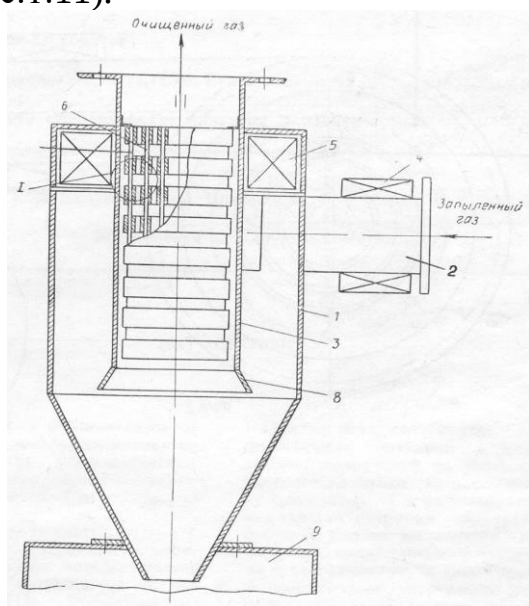
Аналогичны ТПМ. Отличительная особенность в том, что в качестве источников магнитного поля используются электромагниты. Корпус магнита образуется

катушками с несогласной обмоткой и питанием 220 В постоянного тока. Очистка магнитного корпуса осуществляется автоматически так, что после остановки потока материала сначала перемещается пневматически управляемая заслонка и потом при выключении магнита примеси отпадут в выходное отверстие при помощи заслонки. Для тех случаев, когда неожиданно выключается электросеть вставлена конденсаторная батарея, времени разрядки которой достаточно для необходимого передвижения заслонки положения передвижения примесей.

1.5. Сепараторы с насадками и наполнителями [100, 101, 102]

1.5.1. Электромагнитные сепараторы типа „Циклон”, снабженные насадками [84-90]

Циклон, снабженный концентраторами в виде колец [84] содержит корпус 1, входной тангенциальный патрубок 2, центральный выхлопной патрубок 3, расположенную снаружи входного патрубка электромагнитную катушку-коагулятор 4 и расположенную снаружи выхлопного патрубка электромагнитную катушку 5 (рис.1.11).



Внутри выхлопного патрубка установлены концентрические немагнитные каркасы 6, выполненные в виде труб, снаружи и внутри которых закреплены ферромагнитные кольца 7. Выхлопная труба имеет немагнитное коническое кольцо 8, а корпус снабжен бункером 9 для уловленной пыли.

Рис. 1.11. Схема циклона, снабженного концентраторами в виде колец

Принцип действия следующий: запыленный газовый поток, содержащий

ферромагнитные частицы, по входному патрубку 2, проходит через магнитное поле катушек 4 и 5. В магнитном поле частица укрупняется, образуя флоккулы. Часть образовавшихся флоккул под действием инерционных сил отбрасываются к корпусу 1 циклона, а другие частицы осаждаются на выходной трубе и под действием вращающегося газового потока постепенно сползают на немагнитное коническое кольцо 8. Кольцо 8 служит для предотвращения выноса сползших флоккул в выходную трубу. Очищенный от пыли газ поступает в выхлопной патрубок 3, в котором установлен блок ферромагнитных колец 7.

Блок колец является пористым магнитопроводом и служит для доочистки газа от пыли. Магнитный поток проходит между кольцами в осевом направлении, создавая поле, которое служит для улавливания частиц, выносимых из циклона. Наибольшая напряженность магнитного поля на торцах колец, где и осаждаются частицы.

Циклон, снабженный концентраторами в виде пластин [86, 104] состоит из корпуса 1 входного тангенциального патрубка 2, выходной трубы 3, электромагнитной катушки 4. Внутри выходной трубы 3 установлена система 5 доочистки, состоящая из блока параллельных друг другу пластин 6 и ферромагнитных полос 7. Выходная труба 3 имеет немагнитное кольцо 8 для предотвращения выноса флоккул в выходную трубу 3 (рис.1.12).

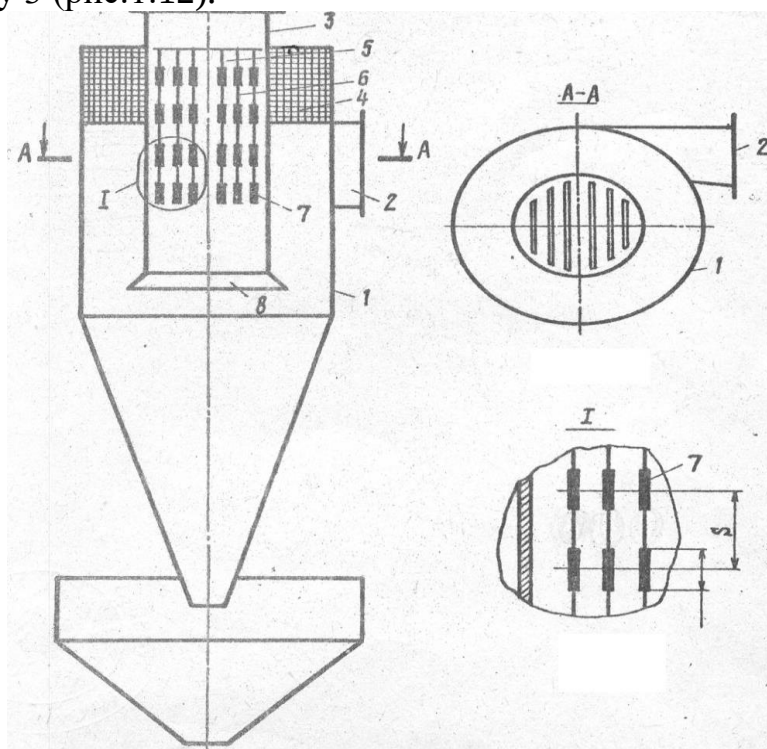


Рис. 1.12. Схема циклона, снабженного пластинами

Циклон работает следующим образом: запыленный газовый поток, содержащий ферромагнитные частицы, по входному патрубку 2 поступает в магнитное поле катушки 4, где частицы укрупняются, образуя флоккулы. Часть образовавшихся флоккул под действием инерционных сил отбрасывается к корпусу циклона, а другие частицы осаждаются на выходной трубе 3 и под действием вращающегося газового потока сползают на кольцо 8. Очищенный от пыли газ поступает в выходную трубу 3, в которой установлена система доочистки 5. Магнитный поток проходит между пластинами 6 в осевом направлении, создавая поле, которое служит для улавливания частиц, выносимых из циклона. Наибольшая напряженность создается на торцах ферромагнитных полос 7, где и происходит осаждение частиц. Регенерация системы доочистки 5 осуществляется отключением катушки 4 на 1-2 мин.

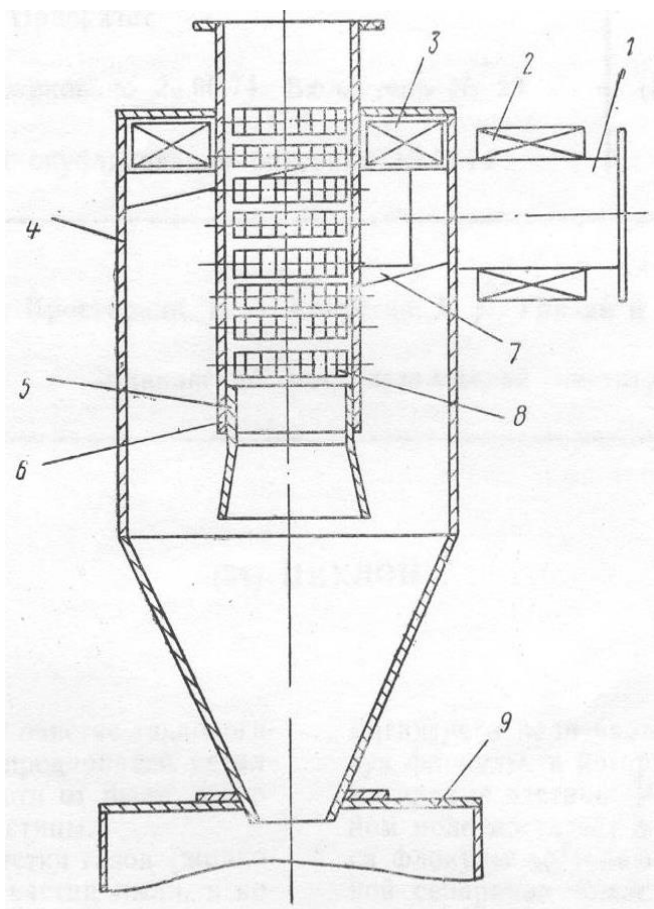


Рис.1.13. Схема циклона, снабженного кольцами

Циклон, снабженный пористыми кольцами [89, 103] имеет входной патрубок 1, электромагнитную катушку-коагулятор 2, кольцевую электромагнитную катушку 3, корпус 4, немагнитное коническое кольцо 5, выходную трубу 6, закручивающее устройство спирального типа 7, блок концентрических ферромагнитных колец 8 и бункер 9 (рис.1.13).

Запыленный газовый поток, содержащий ферромагнитные частицы, по входному патрубку 1 проходит через магнитное поле катушки-коагулятора 2. Под действием сил магнитного поля частицы укрупняются, образуя флоккулы, в которых коагулируются и немагнитные частицы. Размер флоккул в магнитном поле достигает 3 — 10 мм.

Образовавшиеся флоккулы поступают в зону предварительной сепарации циклона, где под действием инерционных сил отбрасываются к его стенке. При выходе из магнитного поля катушки-коагулятора 2 в зависимости от величины коэрцитивной силы H_c ферромагнитных частиц образовавшиеся флоккулы могут разрушаться вследствие турбулизации газового потока. Если коэрцитивная сила мала, то флоккулы разрушаются до исходных частиц, если же максимальна, то они содержат не более 2 — 4 частиц. Для сохранения образовавшихся в магнитном поле катушки-коагулятора 2 флоккул в верхней части циклона устанавливают электромагнитную катушку 3 так, что корпус 4 циклона и кольца 8 в выходной трубе 6 являются для нее магнитопроводом. В этом случае магнитное поле распределяется между цилиндрической частью циклона и его выходной трубой с градиентом напряженности, направленным от корпуса циклона к выходной трубе. Предлагаемая конструкция обеспечивает непрерывность магнитного поля. Если произойдет частичное разрушение флоккул на участке от катушки-коагулятора 2 до корпуса циклона 4, то магнитное поле кольцевой электромагнитной катушки 3 восстановит их. Для предотвращения осаждения пыли на нижней плоскости катушки 3 закручивающее устройство спирального типа 7 выполнено из немагнитного материала.

Максимальная напряженность создается на выходной трубе, поэтому на ней возможно частичное осаждение флоккул и их постепенное сползание на коническое немагнитное кольцо 5 под действием вращающего газового потока. Кольцо 5 служит для предотвращения выноса сползающих флоккул в выходную трубу.

Очищенный от пыли газ поступает в выходную трубу 6, выполненную из немагнитного материала, в которой установлен блок концентрических ферромагнитных колец 8, служащий для доочистки газа от пыли. Кольца изготавливают из листовой электротехнической стали толщиной не более 1 мм. Между кольцами в продольном и поперечном направлениях имеются зазоры для улавливания частиц (продольные зазоры) и прохода газа (поперечные зазоры). Блок колец является пористым магнитопроводом и расположен верхней частью на уровне электромагнитной катушки 3, нижней — на необходимом уровне в зависимости от количества выносимой пыли из циклона.

1.5.2. Электромагнитный сепаратор с зернистым ферромагнитным наполнителем [72, 98]

Электромагнитный сепаратор предназначен для очистки газов и дисперсных сред от ФМЧ (рис.1.14). Состоит из нижней 1 и верхней 2 частей. Нижняя часть 1 предназначена для сбора уловленных ФМЧ. В верхней части 2 располагается кольцевой магнитопровод 3 в пазы которого вложена электрическая обмотка 4. Внутри магнитопровода 3 расположен слой зерен электромагнитного материала 5.

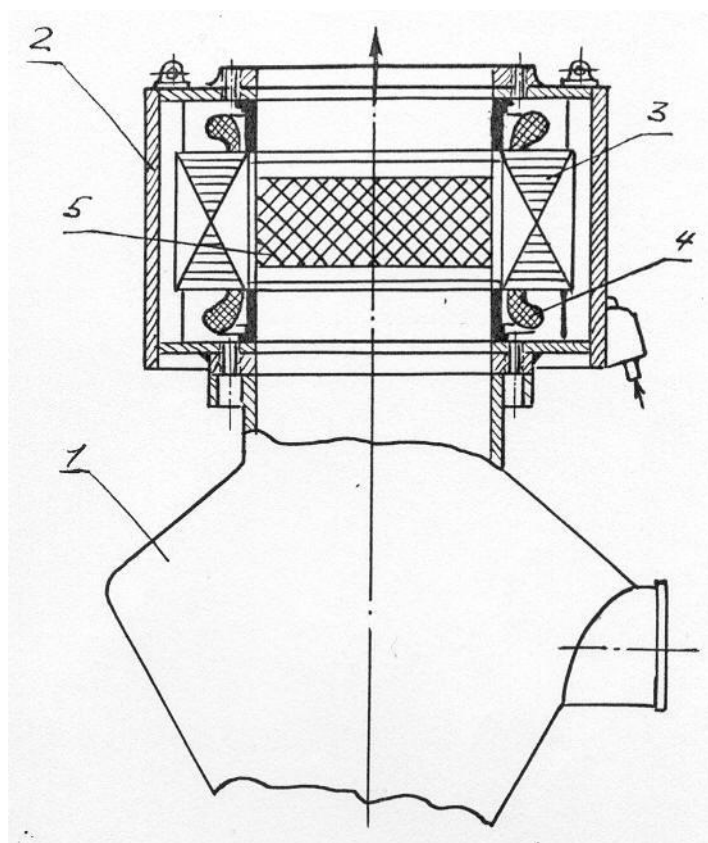


Рис.1.14. Электромагнитный сепаратор с зернистым ферромагнитным наполнителем

Работает сепаратор следующим образом: Загрязненный воздушный поток поступает через боковое отверстие в нижней части 1 на слой зерен электромагнитного материала 5. Под действием магнитного поля, образованного прохождением тока по электрической обмотке 4, магнитные силовые линии по средством кольцевого магнитопровода 3 замыкаются в слое зерен электромагнитного материала 5, создавая в рабочей области извлечения множество „магнитиков”. ФМЧ из воздушного потока задерживаются на слое зерен электромагнитного материала 5, а очищенный поток выходит через выпускное отверстие в верхней части 2.

На основании анализа конструкций и принципа действия выше представленных электромагнитных сепараторов, можно сделать вывод, что: разработанные устройства энергетически не выгодны, используемые наполнители в существующем виде не позволяют их применять при извлечении ФМЧ из дробленого зерна или муки по причине особенностей физико-механических свойств очищаемого материала, а отсутствие расчетов говорит о новаторстве применения данной идеи и требует

дальнейшего развития. В связи с этим сформулированы задачи исследований по разработке эффективных электромагнитных устройств извлечения ФМЧ из дробленого зерна или муки и методов их расчета.

ВЫВОДЫ И ПОСТАНОВКА ЗАДАЧ ИССЛЕДОВАНИЯ

1. В процессе работы технологического оборудования, в результате его износа образуются ферромагнитные частицы, размер которых находится в диапазоне 5 – 100 мкм, а их попадание в биологические организмы вызывает желудочно – кишечные заболевания и может являться причиной снижения их продуктивности.

2. Существующие сепараторы не позволяют извлекать такой размер частиц, так как рассчитаны на более крупные. Конструкции, применяющие концентраторы магнитного поля несовершенны, отсутствуют методы их расчетов.

3. Применение новых эффективных электромагнитных сепараторов должно основываться на снабжении их концентраторами поля, определенной геометрической формы с высокой магнитной проницаемостью, установленных с требуемым шагом, для чего требуется разработка методики их расчета.

4. Применение электромагнитных сепараторов, снабженных концентраторами позволит:

- равномерно распределить магнитное поле в рабочей зоне извлечения сепаратора и соответственно повысить качество извлечения ФМЧ из дробленого зерна и муки;
- снизить энергопотребление;
- включить сепаратор в общую систему автоматизированного управления технологическим процессом;
- снизить возможность повторного уноса уловленных ФМЧ в готовую продукцию;
- повысить качество очистки улавливающих поверхностей сепаратора;
- сократить количество обслуживающего персонала.

Раздел 2

МАТЕМАТИЧЕСКИЕ МОДЕЛИ ДИНАМИКИ ЧАСТИЦ В МАГНИТНОМ ПОЛЕ ЭЛЕКТРОМАГНИТНЫХ СЕПАРАТОРОВ

2.1. Магнитное поле электромагнитных сепараторов

В первом разделе было отмечено, что магнитный способ очистки муки от ФМЧ наиболее эффективен, так как разделяемые материалы имеют разные физические свойства, в частности разную плотность и магнитную проницаемость. По-этому применение сепарации с участием гравитационных сил будет менее эффективно так как большую роль будет играть сила сопротивления среды по причине соизмеримости размеров частиц очищаемого материала и ФМЧ.

2.1.1. Магнитное поле сепараторов с открытыми многополюсными системами (поле „Ш-образных” систем)

В настоящее время на мукомольных комбинатах применяются устройства магнитной очистки, в конструкциях которых заложены открытые многополюсные системы (БКМА 2, МАП и др.) и судя по обследованиям предприятий (глава 1) и ранее приведенным показателям работают неэффективно; их характеристики и параметры наиболее изучены в общем виде, однако при проектировании конкретных конструкций необходимы или дополнительные экспериментальные сведения, либо закономерности их отражающие [12, 14, 15, 17, 31, 59, 61, 76, 79].

Для многополюсных систем основные уравнения магнитного поля, в котором отсутствуют электрические токи были представлены Сочневым А.Я., Дергачем В.А., Кармазиным В.И. и другими [21, 32, 33, 56, 68] и в декартовых координатах преобразованы к виду:

$$\dots, \quad (2.1)$$

где γ – угол между осью y и направлением вектора H .

На рис. 2.1 представлена схема рассматриваемой магнитной системы в общем виде.

Рис. 2.1. Магнитная система чередующейся полярности.

Сопряженные гармонические функции $\ln H$ и угол γ системы уравнений (1) удовлетворяют уравнение Лапласа.

Представим, что начало координат закреплено в средней точке одного из полюсов, при этом направление оси y нормально к их уровню, а оси x в направлении поперечном полюсам. Согласно условий симметрии, угол образуемый направлением вектора H с осью y , во всех точках плоскости, проходящий через середину полюсов, равен нулю, а во всех точках плоскости,

проходящей через середину зазора между полюсами, равен π , т.е. при $x=0$,

а при $x=0,5 \cdot s$ $\pi/2$; на уровне поверхности полюсов $y = 0$, $H_y = H_0$, а при $y = H_0$ 0 . Чтоб определить H , необходимо проинтегрировать уравнения поля (2.1) при указанных граничных условиях.

Решение системы уравнения поля (2.1) будет такое при котором:

$$\left. \begin{aligned} & \dots \\ & \dots \end{aligned} \right\} \quad (2.2)$$

где c , c_1 и c_2 – постоянные интегрирования.

Пользуясь граничными условиями, находим, что

тогда $\dots$ (2.3)

Эти равенства удовлетворяют как уравнению поля (2.2), так и вышеприведенным граничным условиям (2.3), следовательно, решение задачи следующее:

$$(2.4)$$

В плоскости симметрии полюсов
плоскости межполюсного расстояние:

, а в

(2.5)

Таким образом, в плоскостях системы, проходящих через середину полюсов и обмоток, уравнение (2.4) имеет вид:

– над серединой полюсов

– над серединой обмоток

}
}

(2.6)

У поверхности полюса, где y , равенство (2.6) имеет вид:

(2.7)

Следовательно, зависимости (2.4-2.7) описывают распределение напряженности поля, что позволяет их использовать при определении силы магнитного поля, действующей на ферромагнитные тела в рабочей зоне сепараторов, снабженных магнитными системами с открытой многополюсной системой.

2.1.2. Влияние сил на ФМЧ в рабочей зоне многополюсной магнитной системы

В общем виде силы, действующие на ФМЧ в процессе извлечения их магнитным полем из высокодисперсных материалов представлены в векторной форме (по второму закону механики):

(2.8)

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

Формулировки для выражения сил, входящих в (2.8) известны:

– сила сопротивления среды (рассмотрена без учета столкновения ФМЧ с частицами дисперсного материала):

$$); \quad \text{при } RE \geq 2, \quad (2.9)$$

где d_T – диаметр тела, м;
 η_C – „кажущая” динамическая вязкость среды, в которой находится тело, Па·с;

u – скорость движения тела, м/с;

RE – число Рейнольдса.

– сила тяжести:

$$(2.10)$$

где g – ускорение свободного падения, $9,81 \text{ м/с}^2$;

ρ – плотность тела, кг/м^3 .

Принимая к расчету силу Архимеда (удельная сила), (2.10) примет вид:

$$(2.11)$$

– сила магнитного поля зависит от параметров тела, магнитного поля и в общем виде записывается [7, 71]:

$$F_M = \quad , \quad (2.12)$$

где $\mu_0 = 4\pi \cdot 10^{-7} \text{ Гн/м}$;

χ_T – магнитная восприимчивость тела;

V – объём тела, м^3 ;

H – напряженность магнитного поля, А/м ;

$\text{grad } H$ – скорость изменения магнитного поля в направлении движения тела, А/м^2 .

Магнитные параметры χ_T , χ_B связаны между собой соотношением

$$(2.13)$$

где χ_B – магнитная восприимчивость вещества;

N – коэффициент формы.

Рассматривая данную систему, напряженность поля в общем виде определяется [68]:

$$(2.14)$$

Применительно к рассматриваемой системе (рис.2.1), напряженность поля по осям x – y равна (2.14):

(2.15)

Дифференцировании (2.14) позволит получить скорость изменения магнитного поля:

(2.16)

Дифференцируя (2.15) по соответствующим осям координат x - y , получим:

$$\left. \begin{aligned} & \\ & \end{aligned} \right\} \quad (2.17)$$

Подставляя выражения (2.14) и (2.16) в уравнение силы магнитного поля (2.12) получим:

$$\quad \quad \quad (2.18)$$

Таким образом, все ферромагнитные частицы при попадании в рабочую зону сепаратора, подвержены воздействию силы магнитного поля, которая направлена в направлении полюсов электромагнита, действие которой зависит как от параметров частиц (χT – магнитной восприимчивости, V – объема), так и от параметров поля (s – расстояния между полюсами, H_0 – напряженности на полюсе электромагнита, y – положения частицы относительно полюса по вертикали).

На основании предложенных зависимостей (2.8, 2.9, 2.11, 2.18) была разработана математическая модель поведения ферромагнитных частиц в рабочей зоне извлечения сепаратора, снабженного открытой многополюсной системой.

Принимая, что $\quad \quad \quad$, получим:

$$\quad \quad \quad (2.19)$$

Применительно к конкретной электромагнитной системе, создающей магнитное поле уравнение (2.19) в дифференциальной форме, записанное относительно скорости u и траектории (пути) y , примет вид:

.3

(2.20)

с начальными условиями: при $t = 0$; $t(0) = 0$; $u_y(0) = 0$; $y(0) = y$.

Дифференциальные уравнения системы (2.20), описывающие движение магнитной частицы в рабочей зоне магнитных сепараторов с открытой многополюсной системой исследовались численным методом Рунге-Кутты [63] на ПЭВМ с целью выявления недостатков и определения эффективности их работы. Результаты приведены на рис. 2.2.

Исходные данные:
Вязкость среды, Па·с; магнитная постоянная, Гн/м;
плотность ФМЧ (сталь), кг/м³; магнитная восприимчивость ФМЧ
0.01; межполюсный шаг, м;
Размер ФМЧ м.
Результаты моделирования математической модели (2.20) динамики ФМЧ в магнитном поле электромагнитных сепараторов с открытой многополюсной системой позволяют определить следующее:

- размер ФМЧ 25мкм;
- размер ФМЧ 20мкм;
- размер ФМЧ 15мкм;
- размер ФМЧ 5 мкм.

Время,
, с

Рис.2.2. Скорость u и время t движения ФМЧ в рабочей зоне электромагнита с полюсами чередующейся полярности:

– максимальное расстояние, с которого извлекаются ФМЧ размером от 5 до 20 мкм из потока дробленого зерна, при сепараторах с открытой многополюсной системой составляет 5–20мм, в то время как размер труб, по которым транспортируется перерабатываемый материал, составляет не менее 90мм. Если принять, что средняя скорость ФМЧ и этого диапазона составляет 3 м/с (в процессе их извлечения и без учета реальной скорости транспортирования), а время прохождения t в рабочей зоне магнитного сепаратора 0,14 с, то фактическая длина поверхности извлечения должна быть не менее 0,42 м, что больше реальной длины минимум на 0,22 м. Таким образом, основная масса ФМЧ, размером 20 мкм и ниже не извлекается и попадут в готовую продукцию.

2.2. Электромагнитные сепараторы циклонного типа. Метод расчета

Наиболее эффективно магнитные сепараторы циклонного типа применяются при очистке сыпучих дисперсных материалов от магнитных частиц, размер которых составляет не более 20 мкм.

В настоящее время точного аналитического расчета степени очистки мелкодисперсных сыпучих материалов от примесей и ее связи с основными

размерами циклона нет. Вопрос о наилучшей конструкции аппарата чаще всего решается экспериментальным путем [23, 31, 32, 35, 36].

В свою очередь этапы существующих расчетов очистки дисперсных сыпучих материалов следующие [83, 95]:

1. Определение минимального размера частиц:

$$\dots \quad (2.21)$$

где R_2 – радиус циклона; R_1 – радиус выходной трубы; $W_{вх}$ – скорость сыпучих материалов в узком сечении входного патрубка; N – число витков газового потока в циклоне; μ – вязкость среды; ρ – плотность частицы.

Число оборотов N газового потока в циклоне определяется экспериментально. Фукс Н.А. [73, 74] и Циборовский Я. [83] считают, что N лежит в пределах от 1-1,5 до 3; Грин Х. и Лейн В. для N дают диапазон от 3 до 5.

2. Определение гранулометрического состава частиц (весового или счетного) – определяется фракционная, а затем общая степень очистки. Фракционная степень очистки по Фуксу Н.А. вычисляется по формуле [73]:

$$\dots \quad (2.22)$$

где h – ширина входного патрубка; Z_i – расстояние от входящих в циклон частиц до его цилиндрической стенки. d_i – диаметр i -й частицы.

Циборовский Я. фракционную степень очистки определяет по выражению [83]:

$$\dots \quad (2.23)$$

Но предложенные выражения (2.21-2.23) не учитывают ни входную ни выходную концентрации частиц.

Необходимо отметить, что степень очистки мелкодисперсных сыпучих материалов от примесей не является определяющим параметром циклона. Говоря о высокой степени очистки циклоном, нельзя утверждать о высоком качестве очищаемого дисперсного материала, так как при увеличении входной концентрации частиц увеличивается и их пропуск через аппарат. Поэтому определяющей характеристикой циклона является концентрация частиц в очищенном потоке.

Основываясь на имеющейся информации по теории и практике применения циклонов, был сформулирован расчет [83] выходной концентрации примесей после электромагнитного циклона.

В общем виде степень очистки мелкодисперсных сыпучих материалов от примесей аппаратом любого типа определяются известными уравнениями:

(2.24)

(2.25)

где C_i – весовая концентрация частиц размером d_i ;

$C_{вх}$ и $C_{вых}$ – входная и выходная концентрации частиц соответственно;

Ξ_i – фракционная степень очистки потока.

Приравнивая (2.24 и 2.25) между собой, и решая относительно $C_{вых}$, получим:

$$\dots \quad (2.26)$$

Фракционную степень очистки Ξ_i определим из условия равномерного распределения частиц в потоке мелкодисперсных сыпучих материалов.

Отношение $\dots$ показывает долю частиц, которая будет уловлена циклоном, т.е. фракционная степень очистки определится:

$$\dots \quad (2.27)$$

где r_i – путь, пройденный частицей в радиальном направлении за время нахождения ее в цилиндрической части циклона, который можно определить как:

$$\dots \quad (2.28)$$

где U_i – скорость частицы в радиальном направлении;

$t_{ц}$ – время пребывания частицы в цилиндрической части циклона.

Время $t_{ц}$ определим, исходя из производительности циклона и геометрических размеров цилиндрической его части:

$$\dots \quad (2.29)$$

где $V_{ц}$ и $h_{ц}$ – объем и высота цилиндрической части циклона соответственно;

Q – подача циклона;

a – постоянная, корректирующая время пребывания частиц в циклоне.

Радиальную скорость U_i определим на основании сил, действующих на частицы. Сила в радиальном направлении равна:

$$\dots \quad (2.30)$$

где m_i – масса частицы;

$W_{вх}$ – скорость потока в узком сечении входного патрубка;

R_i – радиус кривизны траектории частиц в циклоне.

Для частиц каждой фракции R_i – переменная величина, в среднем ее можно принять равной $R_{\text{ср}}$. Сила сопротивления среды, препятствующая движению частиц определяется законом Стокса по формуле:

$$F_{\text{ср}} = 6\pi\eta R_{\text{ср}} v \quad (2.31)$$

Приравнявая (2.30) и (2.31) решая относительно скорости частиц, получим:

$$v = \frac{Q}{F_{\text{вх}}} \quad (2.32)$$

С учетом (2.32), (2.27), (2.28) и при условии, что $Q = F_{\text{вх}} \cdot W_{\text{вх}}$, фракционная степень очистки будет определяться выражением ε_i :

$$\varepsilon_i = \frac{h_{\text{цикл}}}{d_i} \quad (2.33)$$

где $F_{\text{вх}}$ – площадь узкого сечения входного патрубка.

Правая часть выражения (2.33) может принимать значения: $\varepsilon_i > 1$ – при этом частицы размером d_i улавливаются полностью на высоте циклона, меньше конструктивной $h_{\text{ц}}$; ε_i циклона $h_{\text{ц}}$; $\varepsilon_i < 1$ – конструктивной высоты циклона $h_{\text{ц}}$ недостаточно для полного улавливания частиц.

Таким образом, при определении фракционной степени очистки дисперсного материала от частиц циклоном необходимо соблюдать условия:

$$\begin{aligned} &\text{если } \varepsilon_i > 1, \\ &\text{если } \varepsilon_i < 1. \end{aligned} \quad (2.34)$$

При наличии в цилиндрической части циклона радиального магнитного поля напряженностью H , частицы будут взаимодействовать между собой, образуя флокулы в виде цепочек, ориентированных по направлению силовых линий поля. Время, необходимое для флокулообразования [94], должно быть меньше или равно времени нахождения частиц в цилиндрической части циклона, т.е. $t_{\text{фл}} \leq t_{\text{цикл}}$, и с учетом (2.29) временное условие будет иметь вид:

$$t_{\text{фл}} = \frac{m_{\text{фл}}}{m_i} \quad (2.35)$$

При выполнении условия (2.35) в циклоне будут образовываться флокулы массой $m_{\text{фл}}$ и фракционная степень очистки (2.33) будет определяться по формуле:

$$\varepsilon_i = \frac{m_{\text{фл}}}{m_i} \quad (2.36)$$

Учитывая цепочное строение флокул, приближенно можно принять, что их диаметр равен диаметру частиц ($d_{\text{фл}} = d_i$), масса флокулы равна массе частицы, умноженной на их количество ($m_{\text{фл}} = n_{\text{фл}} \cdot m_i$); тогда:

Записывая в
окончательный вид
магнитным полем:

(2.37)

им
радиальным

а)

б)

в)

г)

д)

при условии: если

если

(2.38)

Основными недостатками сепараторов циклонного типа с наложением радиального магнитного поля является размер извлекаемых частиц и степень дисперсности очищаемого материала. Следовательно, чем ниже размер извлекаемых примесей (менее 20 мкм) и дисперсность материала (например, дробленое зерно, мука, крупы и т.д.), степень извлечения магнитных частиц будет снижаться.

2.3. Магнитное поле концентраторов

Анализ предыдущих конструкций показал их несовершенство. Одним из возможных путей для ликвидации недостатков является совершенствование рабочих зон, например, путем размещения в них концентраторов поля (будь то системы доочистки в циклонах или самостоятельные сепараторы) – сферических (или другой формы) тел определенного размера (рис.2.3), установленных в шахматном порядке и имеющие высокую магнитную проницаемость (например, близкую к электротехнической стали).

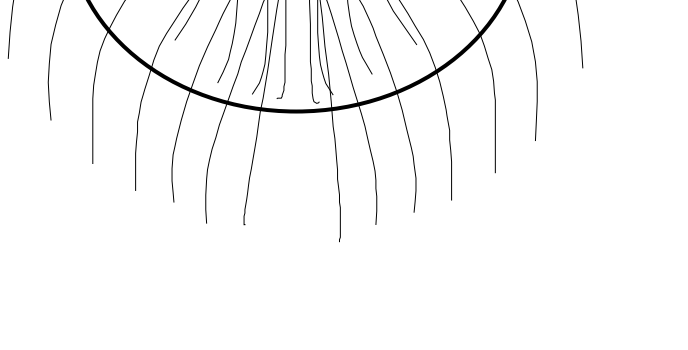


Рис.2.3. Сферический концентратор.

Напряженность поля вблизи концентратора, помещенного в неоднородное магнитное поле ($\text{grad } H \neq 0$), определяется выражением [50, 54, 55]:

(2.39)

где μ – магнитная проницаемость частицы;
 d_c – диаметр концентратора (центра);
 R – текущая координата между частицей и концентратором;
 H_0 – напряженность поля внешнего источника (электромагнитной обмотки);
 α – угол, определяющий местоположение частицы в пространстве;

k – коэффициент;

Процесс извлечения ферромагнитных частиц происходит благодаря тому, что концентраторы искажают поле, т.е. вблизи „центров” $\text{grad } H \neq 0$. На рис.2.4. показана схема взаимодействия частиц с „центрами”.

Рис.2

В дан... ность внешнего источника Н0 представляет собой напряженность, создаваемую током, проходящим в электромагнитной обмотке.

В частном случае, при отсутствии концентраторов, в электромагнитной обмотке на частицы действует сила магнитного извлечения FM, которая вызывает их движение к точкам поля с наибольшей напряженностью. Такие точки в электро-

магнитной обмотке расположены на внутренней её поверхности, при чем сила магнитного поля FM с приближением к оси у увеличивается (рис.2.5.б). Электромагнитные обмотки, создающие магнитное поле имеют самое разнообразное конструктивное оформление (круглые, овальные, прямоугольные).

Из приближенного расчета индукции B0 магнитного поля на оси круглой электромагнитной обмотки (в отсутствии магнитного наполнителя) К.А.Круг [37] получил аналитическое выражение (рис.2.5.а):

$$(2.40)$$

где $I \cdot W$ - количество ампервитков катушки;
 l - её длина;
 β_1, β_2 – углы между осью катушки и его концами при перемещении точки M по оси x.

Рис.2.5. Электромагнитная обмотка:

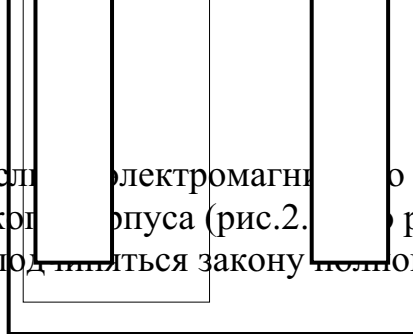
- а) – конструктивное исполнение;
 б) – распределение напряженности по оси у.

Заменяя $\cos \beta_1, \cos \beta_2$ через размеры электромагнитной обмотки и текущую координату у точки M и учитывая, что индукция связана с напряженностью поля соотношением получим:

$$(2.41)$$

где r_c – средний радиус электромагнитной обмотки.

Но если электромагнитную обмотку „одеть” бандаж в виде металлического корпуса (рис.2.6) распределение напряженности магнитного поля будет подчиняться закону полного тока, для замкнутых магнитопроводов [71]:



(2.42)

где l_0 , l_i – длина средней силовой линии в воздушном зазоре и в магнитопроводе (корпусе) соответственно;

H_i – напряженность поля в магнитопроводе (корпусе).

Рис.2.6. Электромагнитная обмотка с металлическим корпусом:

а) – конструктивное исполнение;

б) – распределение напряженности по оси y .

Так как напряженность с корпусе очень мала, следовательно произведением $H_i \cdot l_i$ можно пренебречь и выражение (2.42) будет иметь вид:

(2.43)

Дифференцируя (2.39) по R и записывая в виде определим скорость изменения магнитного поля в области концентратора:

(2.44)

Зная распределение напряженности H_R (2.41) и скорости её изменения

(2.44), определим силу магнитного поля F_M , действующую на ферромагнитную частицу в области концентратора:

(2.45)

Таким образом, ферромагнитные частицы при попадании в область изменения магнитного поля концентратора в сепараторе или системе доочистки циклона, подвержены воздействию силы магнитного поля, которая направлена в направлении „центров” осаждения, действие которой зависит от параметров частицы (χ_T – магнитной восприимчивости, d_T – её размеров), от положения частицы R в области магнитного поля концентратора и геометрических

параметров концентраторов d_c .

На основании предложенных зависимостей силы магнитного поля (2.45) и ранее рассмотренных сил сопротивления среды и тяжести, была разработана математическая модель поведения ферромагнитных частиц в рабочей зоне сепаратора, снабженного концентраторами магнитного поля.

2.4. Математическая модель динамики частиц в магнитном поле электромагнитных сепараторов, снабженных концентраторами

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

Согласно второго закона механики (2.8) и выражений (2.9, 2.11 и 2.45), результирующее значение следующее:

(2.46)

Применительно к конкретной электромагнитной системе, создающей магнитное поле уравнение (2.46) в дифференциальной форме, записанное относительно скорости u и траектории (пути) x , примет вид:

2.47)

с начальными условиями: при $t = 0$; $t(0) = 0$; $u(0) = u_0$; $R(0) = R_0$.

где

Полученная система дифференциальных уравнений (2.47) является математической моделью движения ФМЧ в магнитном поле рабочей зоны сепаратора, снабженного концентраторами сферической формы.

С целью определения основных динамических характеристик движения ФМЧ – времени t , скорости u и траектории перемещения x к поверхности концентраторов, система уравнений (2.49) многократно решались численным методом Рунге-Кутты [63] на ПЭВМ, при варьировании следующих параметров: размер дробленого зерна, насыпной вес; ФМЧ – размер, форму, плотность, магнитную восприимчивость; источник магнитного поля – напряженность H и

скорость ее изменения $\text{grad } H$ по направлению движения ФМЧ.

С целью наглядности представления результатов и для более качественного анализа одновременно исследовалось движение нескольких сферических ФМЧ. Для этого была запрограммирована система из 15 дифференциальных уравнений (по 3и на каждое тело), при условии, что ФМЧ не взаимодействуют между собой.

Ниже приведен компьютерный вариант записи системы уравнений (2.49) для 5и сферических ФМЧ:

Исходные данные:				
Вязкость среды,	Па·с;	магнитная постоянная,	Гн/м;	
плотность ФМЧ (сталь),	кг/м ³ ;	магнитная восприимчивость ФМЧ		
; размер ФМЧ:				м;
размер концентраторов:	,	,	,	м

где $x_0(t)$, $x_2(t)$, $x_4(t)$, $x_6(t)$, $x_8(t)$ – скорость движения ФМЧ (соответствующих размеров) к концентраторам, м/с;

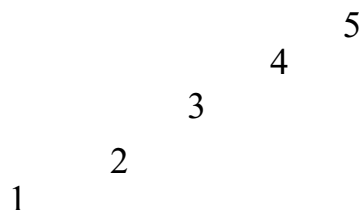
$x_0(0)$, $x_2(0)$, $x_4(0)$, $x_6(0)$, $x_8(0)$ – начальная скорость движения тех же частиц, м/с;

$x_1(t), x_3(t), x_5(t), x_7(t), x_9(t)$ – расстояние осаждения ФМЧ на поверхности концентратора, м;

, – коэффициенты.

На рис. 2.7-2.12 показаны результаты численного интегрирования математических моделей (2.47), а именно графические зависимости изменения скорости u и расстояния x перемещения ФМЧ относительно времени t в магнитном поле рабочей зоны сепаратора при изменении различных параметров ФМЧ и поля (размер тела, напряженность поля).

Скорость ФМЧ, u , м/с



М

5'

4'

3'

2'

1'

Рис.2.7. Скорость u и время t движения магнитной частицы в рабочей зоне электромагнита с концентраторами: размер концентратора $d_{11}=1\text{ мм}$, напряженность поля $H = 4,0 \cdot 10^4 \text{ А/м}$, размер частиц 1-1/2-2/3-3/4-4/5-5/

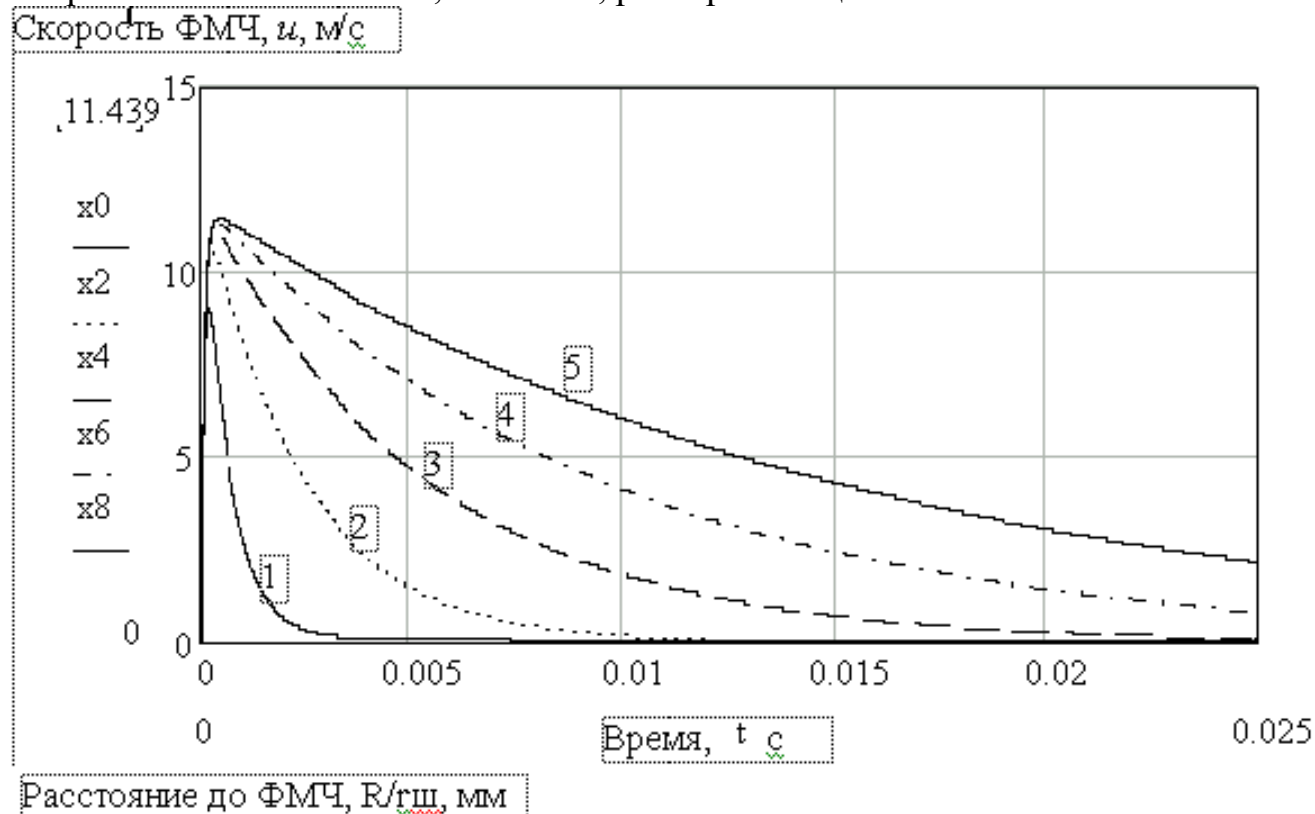
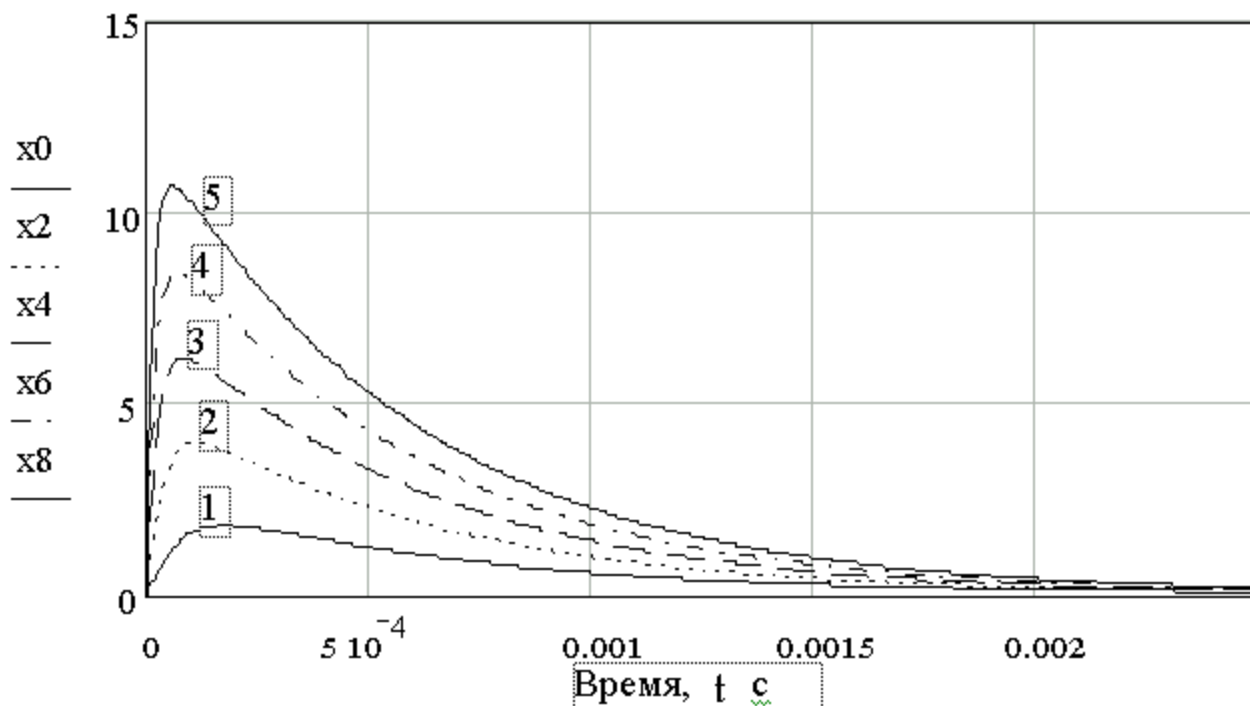


Рис.2.8. Скорость u и время t движения магнитной частицы в рабочей зоне электромагнита с концентраторами: размер концентратора $d_{15}=5\text{ мм}$, напряженность поля $H = 4,0 \cdot 10^4 \text{ А/м}$, размер частиц 1-1/2-2/3-3/4-4/5-5/

Скорость ФМЧ, u , м/с



Расстояние до ФМЧ, $R/\text{гш}$, мм

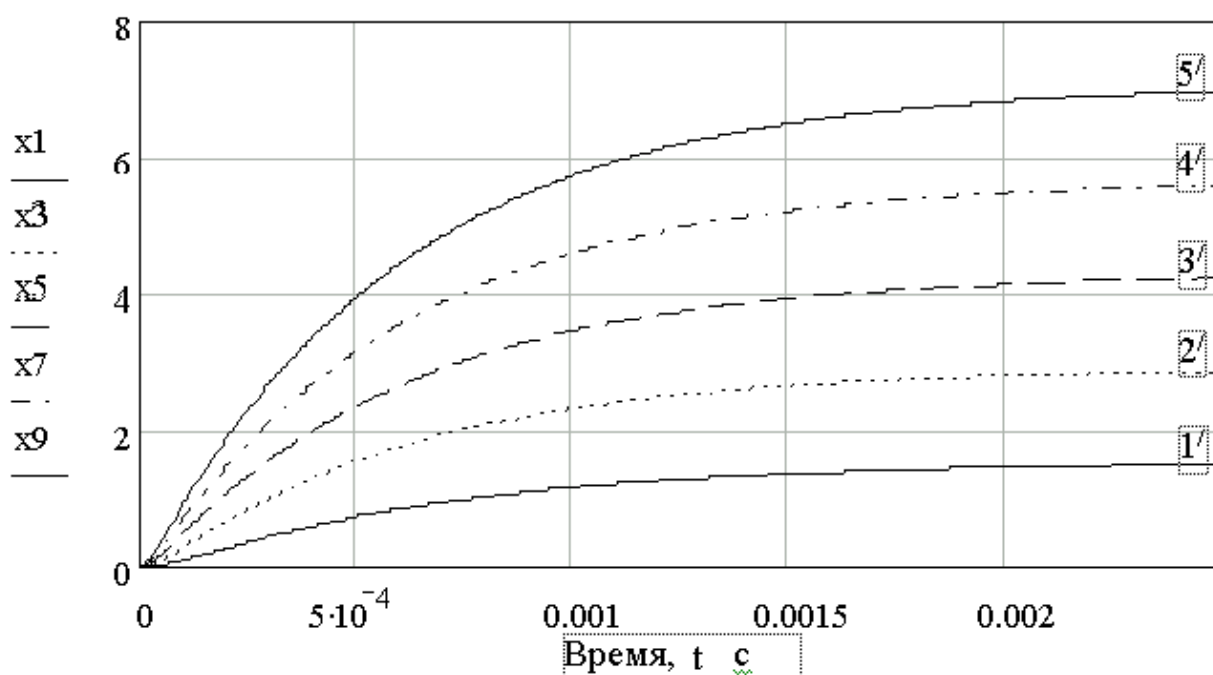


Рис.2.9. Скорость u и время t движения магнитной частицы в рабочей зоне электромагнита с концентраторами: размер концентратора $d_{l1}=1\text{ мм}$, размер частицы = 5 мкм; напряженность поля H 1-1/ $0,8 \cdot 10^4$ А/м, 2-2/ $1,6 \cdot 10^4$ А/м, 3-3/ $2,4 \cdot 10^4$ А/м, 4-4/ $3,2 \cdot 10^4$ А/м, 5-5/ $4,0 \cdot 10^4$ А/м.

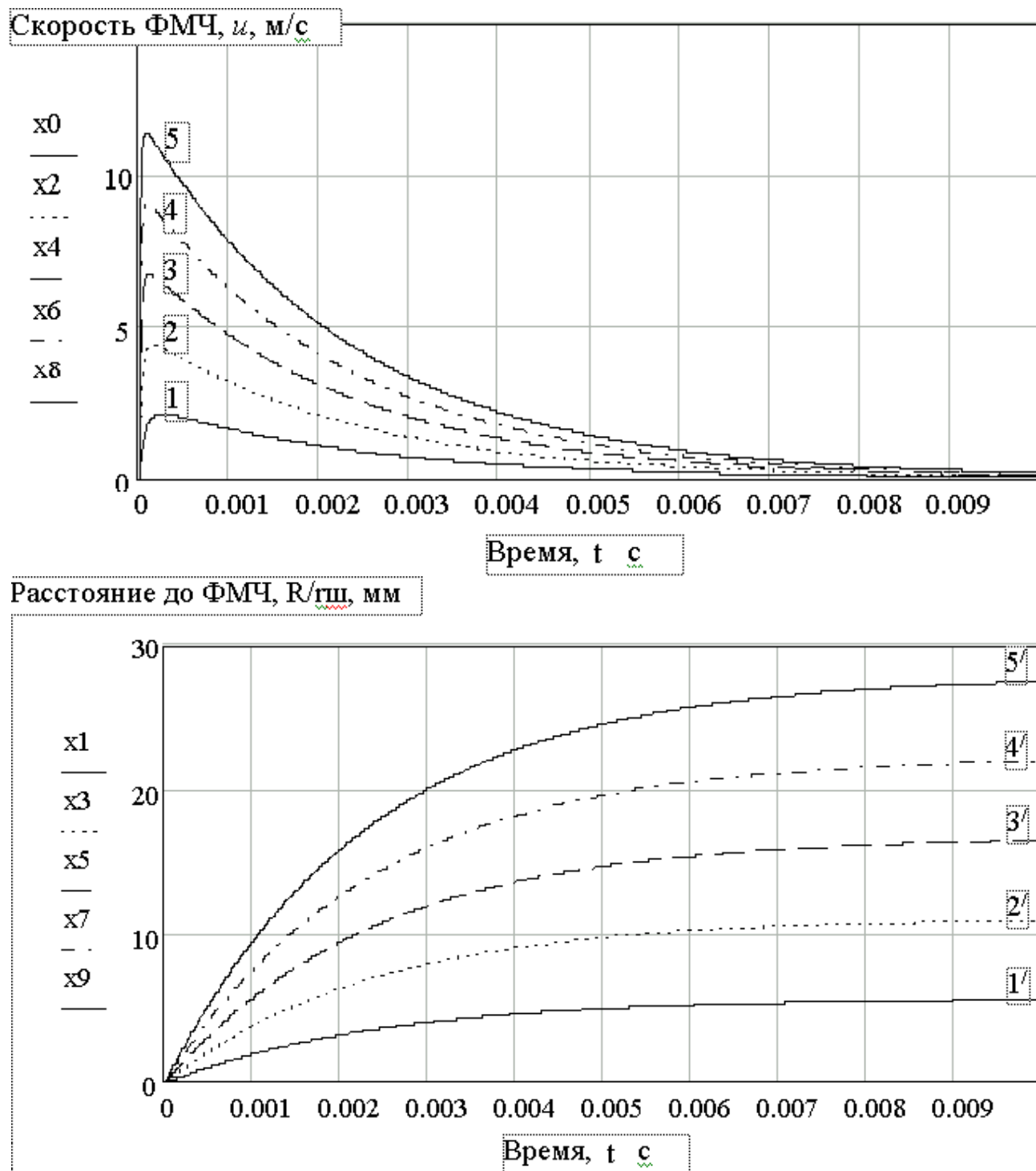


Рис.2.10. Скорость u и время t движения магнитной частицы в рабочей зоне электромагнита с концентраторами: размер концентратора $d_{l1}=1$ мм, размер частицы = 10 мкм; напряженность поля H 1-1/4 А/м, 2-2/4 А/м, 3-3/4 А/м, 4-4/4 А/м, 5-5/4 А/м.

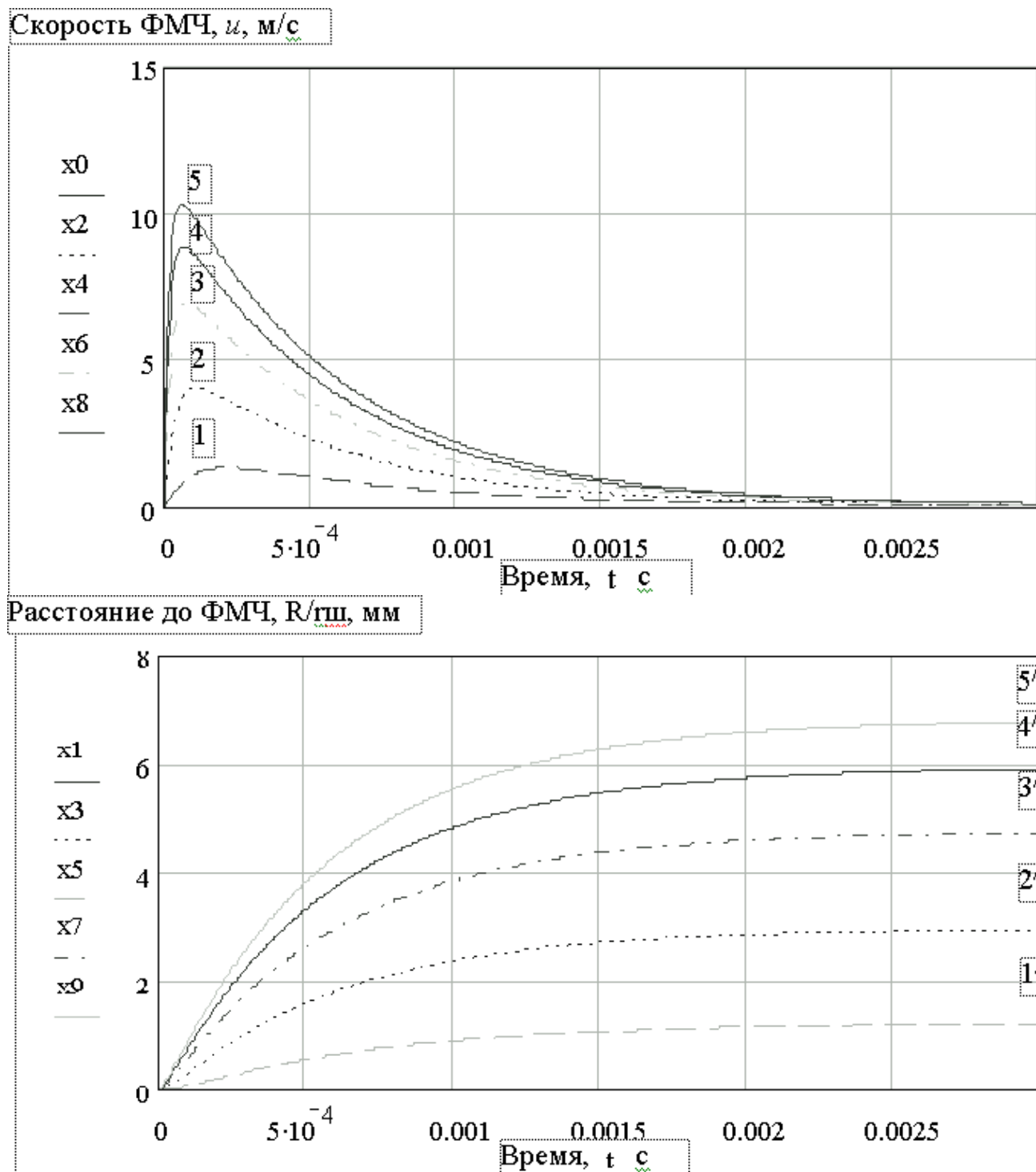
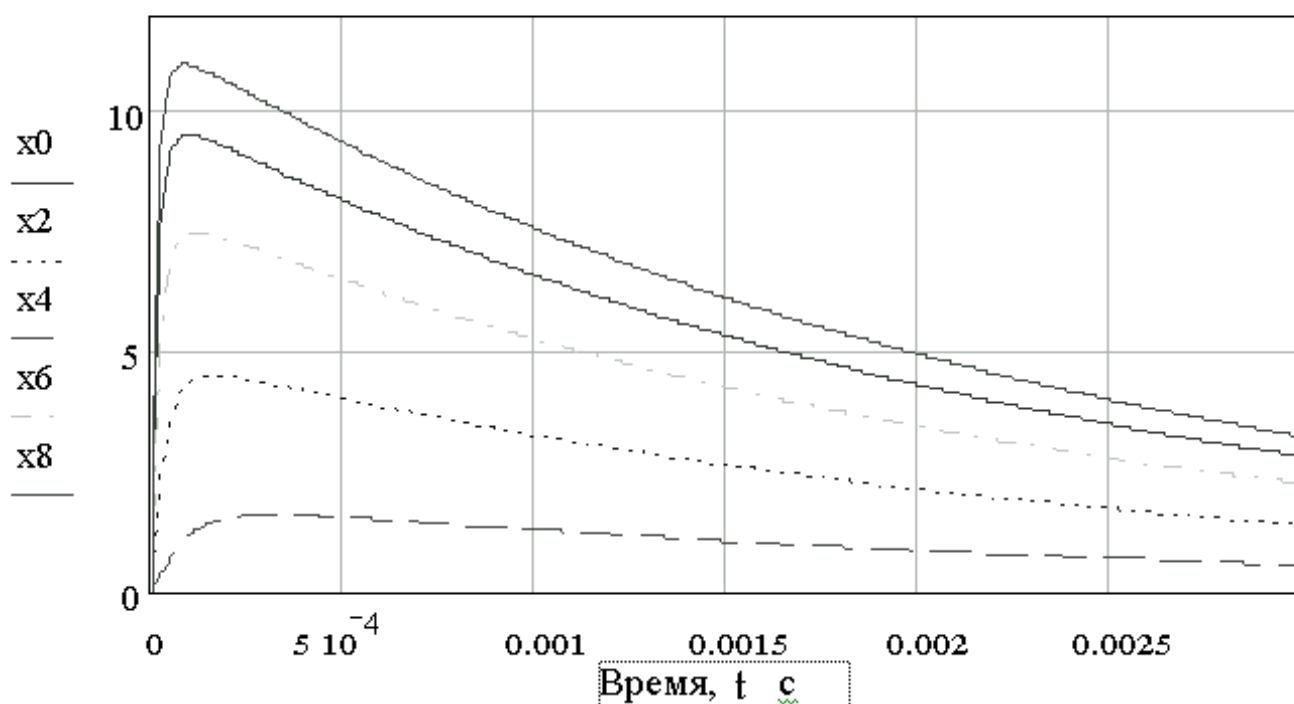


Рис.2.11. Скорость u и время t движения магнитной частицы в рабочей зоне электромагнита с концентраторами: размер концентратора $d_{l1}=1\text{ мм}$, размер частицы $= 5\text{ мкм}$; напряженность поля $H = 4,0 \cdot 10^4\text{ А/м}$; угол полета частицы по отношению к концентратору α 1-1/ 500, 2-2/400, 3-3/0, 4-4/200, 5-5/100.

Скорость ФМЧ, u , м/с



Расстояние до ФМЧ, $R/\text{гш}$, мм

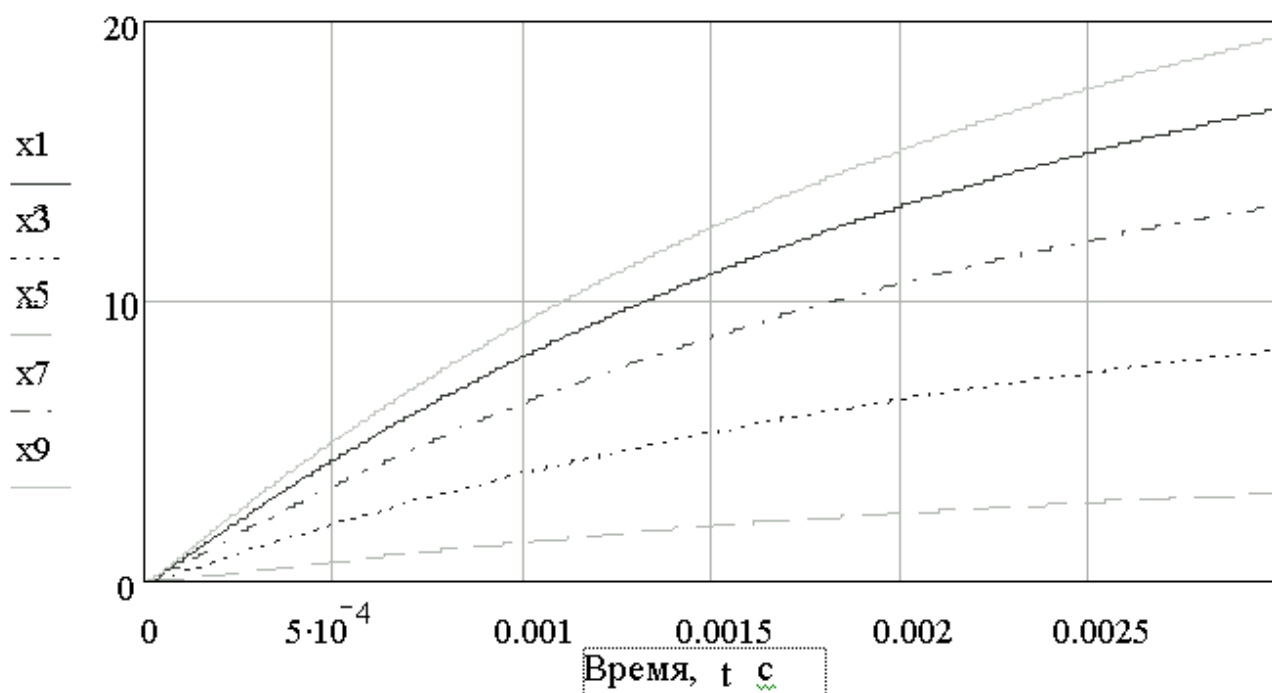


Рис.2.12. Скорость u и время t движения магнитной частицы в рабочей зоне электромагнита с концентраторами: размер концентратора $d_{l1}=1\text{ мм}$, размер частицы = 10 мкм; напряженность поля $H = 4,0 \cdot 10^4 \text{ А/м}$; угол полета частицы по отношению к концентратору α 1-1/0, 2-2/0, 3-3/0, 4-4/0, 5-5/0.

Зависимости 1-5 на графиках показывают изменение скорости и осаждения частиц на концентратор при изменении параметров магнитного поля (

напряженности внешнего источника) и размеров концентраторов. Зависимости 1/5/ показывают отношение размера концентратора к его расстоянию (путь, пройденный частицей к концентратору при ее попадании в зону извлечения).

Результаты моделирования математических моделей динамики ФМЧ в магнитном поле электромагнитных сепараторов, снабженных концентраторами поля позволяют сделать вывод (рис.2.13):

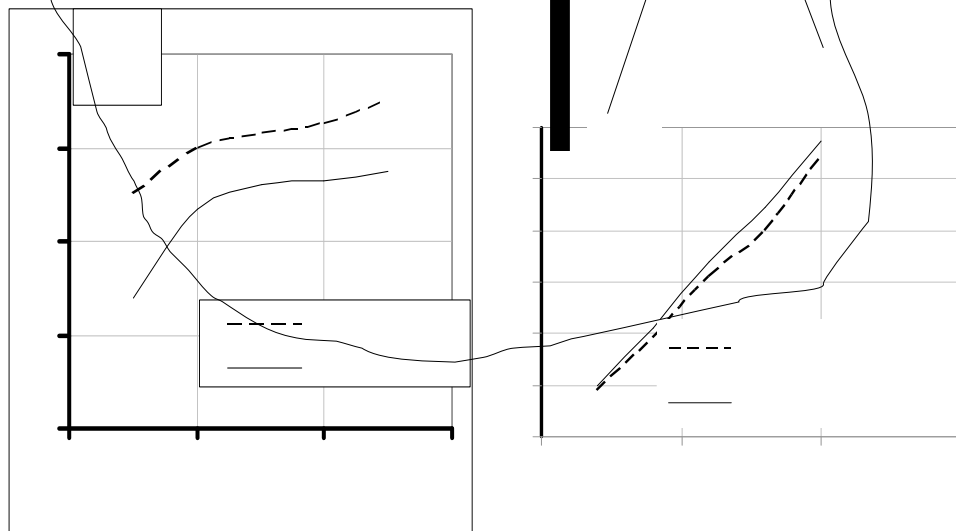


Рис. 2.13. Результаты решения дифференциальных уравнений:

а, б, в – графики зависимости скорости соприкосновения частиц с концентратором от размера частиц, напряженности поля и угла направления частицы к полюсу соответственно.

от 5 до 25 мкм) составляет 12 м/с, при концентраторах разного диаметра (от 1 до 5 мм) (α составляющих) меняется

ли скомпоновать концентраторы таким

этом „а“
5мкм) п
практич

образом, что сумма „активных зон“ извлечения будет равна рабочему объему сепарации, то степень извлечения будет достигать в диапазоне 95–99% (разд. 3);

Рис. 2.14. Конструктивные параметры сепараторов с концентраторами:
а, в – расстояние между концентраторами в горизонтальном и вертикальном направлениях.

Табл. 2.1.

Конструктивные параметры компоновки концентраторов, при извлечении
ФМЧ размером 5мкм.

Расстояние между концентраторами	Диаметр концентраторов				
	1 мм	2 мм	3 мм	4 мм	5 мм
по горизонтали, а, мм	8	7	5	3	0,8
по вертикали, в, мм	16	14	12	8	6,5

– при изменении напряженности в 5 раз (от $0,8 \cdot 10^4$ до $4,0 \cdot 10^4$ А/м) пропорционально меняется область, в которой частицы притягиваются к концентратору;

– разный размер частиц (от 5 мкм до 25 мкм) притягиваются не с одинакового расстояния – при напряженности $4,0 \cdot 10^4$ А/м частица ферромагнетика размером 5 мкм притягивается к концентратору с расстояния 7 мм, частица 10 мкм – 14 мм, 15 мкм – 20 мм и т.д.

Анализируя скорость соударения частицы в концентратор необходимо отметить, что она растет пропорционально увеличению напряженности, но не линейно (при увеличении напряженности в 5 раз скорость увеличивается в 6,2 раза). При одинаковых параметрах магнитного поля частицы большего размера (а следовательно большей массы) имеют скорость выше по отношению к мелким частицам.

Таким образом, исходя из (2.46), приравнивая силу магнитного поля и сопротивления среды (не учитывая силу тяжести из-за её малой величины) и решая относительно I , получим:

(2.48)

Зависимость (2.48) является основополагающей, так как объединяет основные параметры электромагнитного сепаратора: силу тока I , число витков W и высоту электромагнитной обмотки l_0 , размер концентраторов (диаметр спирали) d_c , активную зону извлечения R , положение частицы в момент соприкосновения $\cos \alpha$, размер частицы dT , а также параметры среды: вязкость η , магнитная проницаемость μ и скорость потока u .

В качестве примера, на рис 2.15 приведены зависимости силы тока в обмотке от положения частицы (шара) под полюсом (концентратором), т.е.

сопоставление теоретической зависимости (2.47) с экспериментом, вычисленным для разработанного электромагнитного сепаратора (разд. 3).

Важным элементом расчета электромагнитного сепаратора с концентраторами является определение эффективности его работы, выраженная через взаимосвязь с основными электротехническими параметрами устройства, указанными ранее.

Согласно предлагаемой методике, эффективность извлечения частиц в электромагнитном сепараторе будет определяться размером и количеством „зон не улавливания”, образованные по причине не полного охвата изменения магнит-

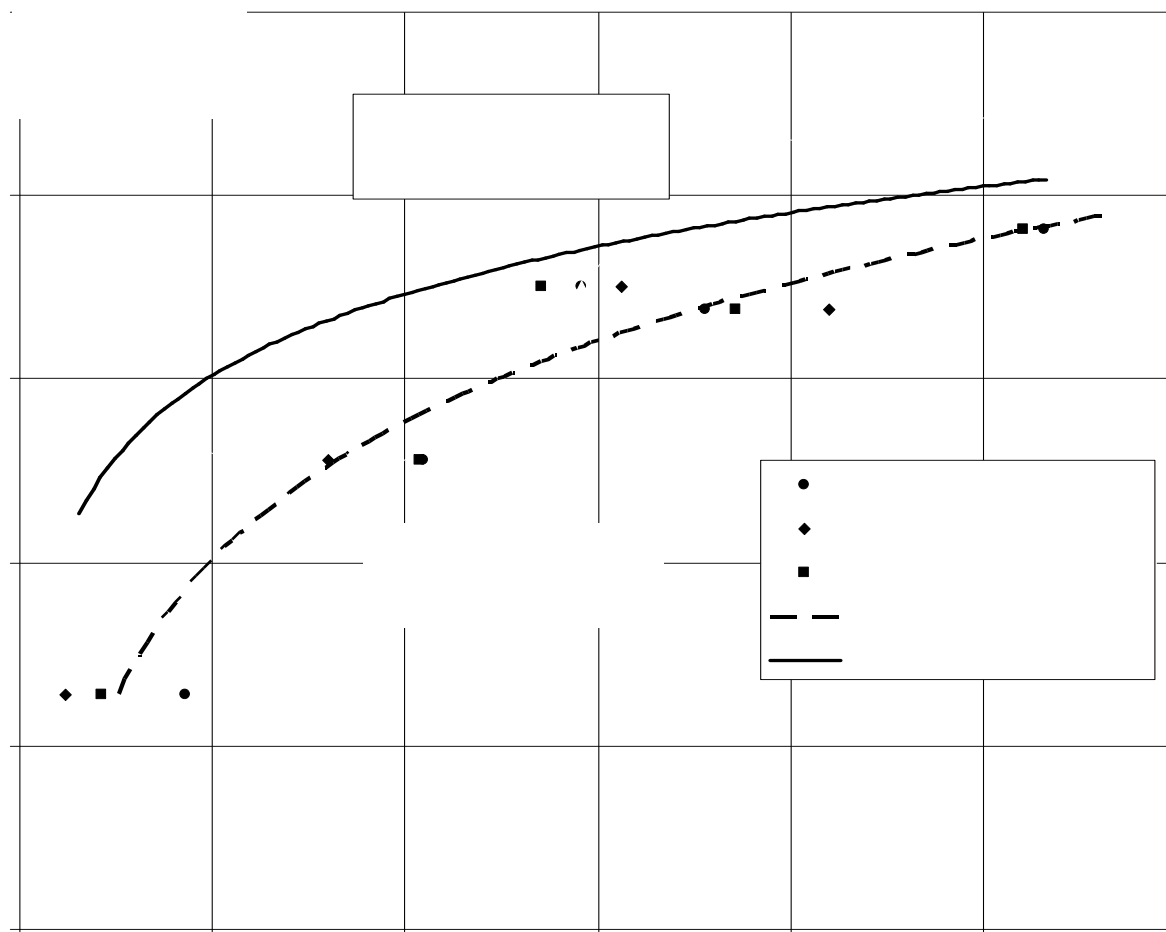


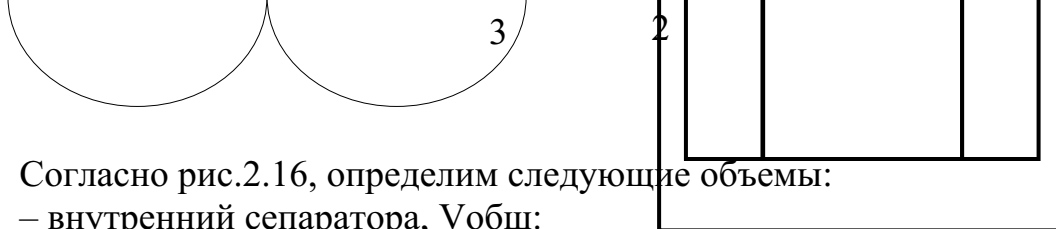
Рис.2.15. График зависимости $R_f(I)$ для шара.

ного поля вокруг каждого концентратора (рис.2.16).

Таким образом, эффективность определяется выражением (для данного случая):

$$\eta = \frac{V_{\text{общ}} - V_{\text{б.п.}}}{V_{\text{общ}}} \quad (2.49)$$

где $V_{\text{общ}}$ – внутренний объем сепаратора;
 $V_{\text{б.п.}}$ – объем „зон не улавливания”.



Согласно рис.2.16, определим следующие объемы:

– внутренний сепаратора, $V_{общ}$:

$$(2.50)$$

– занимаемый концентратором, V_k :

$$(2.51)$$

Рис.2.16. Распределение напряженности поля вокруг концентраторов:

1 – зона извлечения (полезный объем, V_p),

2 – концентратор (объем, занимаемый концентратором, V_k),

3 – „зоны не улавливания” (объем без поля, $V_{б.п.}$),

$d_{тр}$ – внутренний диаметр сепаратора,

l_0 – длина сепаратора.

– полезный, V_p , с учетом (2.48):

$$(2.52)$$

– без поля:

$$(2.53)$$

где n – количество концентраторов.

С учетом (2.50-2.53), выражение определения эффективности (2.49) примет вид:

(2.54)

В качестве примера, на рис 2.17 приведены зависимости эффективности извлечения от силы тока в обмотке сепаратора, вычисленные для разработанного электромагнитного сепаратора (разд.3) и сопоставленные с теоретической зависимостью (2.54) при следующих параметрах: размер концентратора $d_{ц1050\text{мм}}$, число витков $W_{аратора}$ $d_{тр1}(\text{var})$ 5 – 29А.

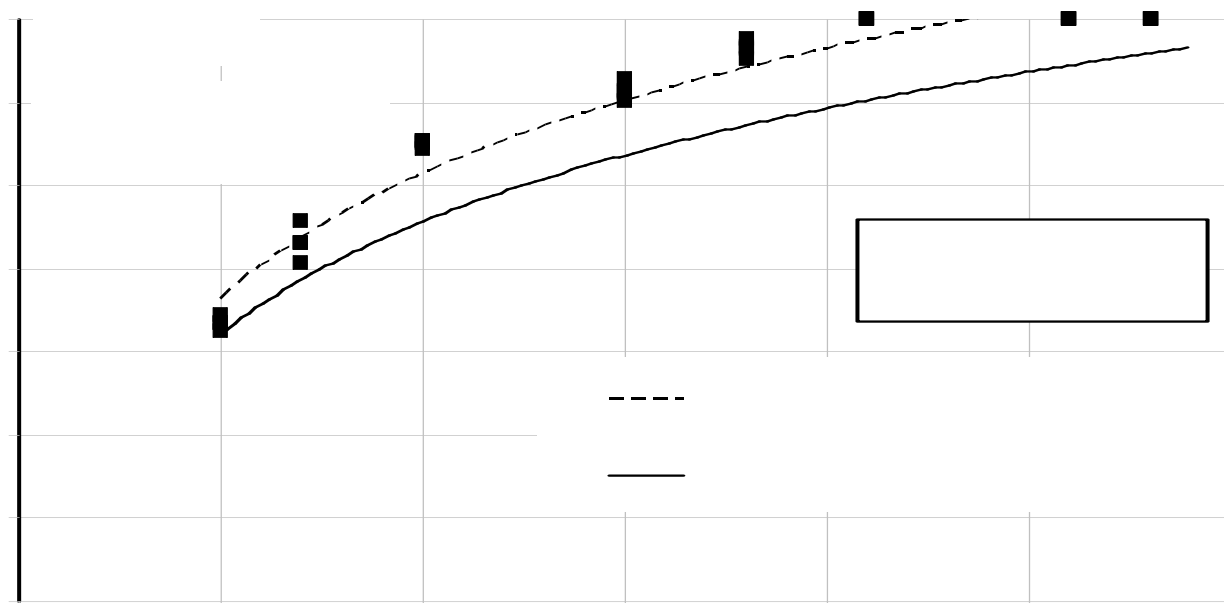


Рис. 2.17. Зависимость эффективности извлечения от силы тока в обмотке электромагнита.

Выводы

1. Для извлечения ФМЧ из потока муки, перемещаемой пневмотранспортом, следует применять электромагнитные сепараторы или циклоны, снабженные концентраторами поля, в качестве которых могут быть использованы тела сферической формы с высокой магнитной проницаемостью, что обеспечит равномерное распределение магнитного поля по всей рабочей зоне сепаратора.

2. На основании разработанной математической модели в виде системы дифференциальных уравнений (2.47), в основе использующей взаимодействие магнитного поля с ФМЧ, определяются динамические характеристики – скорость u , расстояние R и время t извлечения ФМЧ из дробленого зерна и муки.

3. Зависимость (2.48), связывающая параметры магнитного поля, ФМЧ и среды позволяет определить основные конструктивные параметры компоновки концентраторов $d_{\text{ц}}$ в зависимости от: известных технологических параметров потока очищаемого материала (динамической вязкости η_s , скорости u) и задаваемых электротехнических параметров (числа витков источника поля W , тока в обмотке I , длины обмотки l_0) с учетом извлекаемых ФМЧ (размер dT , магнитная восприимчивость χ_T). Зависимость (2.54) позволяет определять требуемую эффективность извлечения ФМЧ на основании выше указанных параметров, учитывая количество используемых концентраторов n .

4. Для получения эффективности извлечения ФМЧ (рис.2.17) основного диапазона 100мкм из муки в 95-99%, согласно зависимости (2.54), требуется электромагнитный сепаратор со следующими параметрами:

- число витков сепаратора $W_{354} - 360$;
- длина обмотки сепаратора $l_{050\text{мм}}$;
- размер концентратора $d_{\text{ц}}$;
- расстояние между концентраторами по горизонтали и вертикали соответственно 8мм и 16мм;
- ток в обмотке сепаратора $I = 23-25 \text{ А}$.

Раздел 2

МАТЕМАТИЧЕСКИЕ МОДЕЛИ ДИНАМИКИ ЧАСТИЦ В МАГНИТНОМ ПОЛЕ ЭЛЕКТРОМАГНИТНЫХ СЕПАРАТОРОВ

2.1. Магнитное поле электромагнитных сепараторов

В первом разделе было отмечено, что магнитный способ очистки муки от ФМЧ наиболее эффективен, так как разделяемые материалы имеют разные физические свойства, в частности разную плотность и магнитную проницаемость. По-этому применение сепарации с участием гравитационных сил будет менее эффективно так как большую роль будет играть сила сопротивления среды по причине соизмеримости размеров частиц очищаемого материала и ФМЧ.

2.1.1. Магнитное поле сепараторов с открытыми многополюсными системами (поле „Ш-образных” систем)

В настоящее время на мукомольных комбинатах применяются устройства магнитной очистки, в конструкциях которых заложены открытые многополюсные системы (БКМА 2, МАП и др.) и судя по обследованиям предприятий (глава 1) и ранее приведенным показателям работают неэффективно; их характеристики и параметры наиболее изучены в общем виде, однако при проектировании конкретных конструкций необходимы или дополнительные экспериментальные сведения, либо закономерности их отражающие [12, 14, 15, 17, 31, 59, 61, 76, 79].

Для многополюсных систем основные уравнения магнитного поля, в котором отсутствуют электрические токи были представлены Сочневым А.Я., Дергачем В.А., Кармазиным В.И. и другими [21, 32, 33, 56, 68] и в декартовых координатах преобразованы к виду:

$$\dots, \quad (2.1)$$

где γ – угол между осью y и направлением вектора H .

На рис. 2.1 представлена схема рассматриваемой магнитной системы в общем виде.

Рис. 2.1. Магнитная система чередующейся полярности.

Сопряженные гармонические функции $\ln H$ и угол γ системы уравнений (1) удовлетворяют уравнение Лапласа.

Представим, что начало координат закреплено в средней точке одного из полюсов, при этом направление оси y нормально к их уровню, а оси x в направлении поперечном полюсам. Согласно условий симметрии, угол образуемый направлением вектора H с осью y , во всех точках плоскости, проходящий через середину полюсов, равен нулю, а во всех точках плоскости,

проходящей через середину зазора между полюсами, равен π , т.е. при $x=0$,

а при $x=0,5 \cdot s$ $\pi/2$; на уровне поверхности полюсов $y = 0$, $H_y = H_0$, а при $y = H_0$ 0 . Чтоб определить H , необходимо проинтегрировать уравнения поля (2.1) при указанных граничных условиях.

Решение системы уравнения поля (2.1) будет такое при котором:

$$\left. \begin{aligned} & \dots \\ & \dots \end{aligned} \right\} \quad (2.2)$$

где c , c_1 и c_2 – постоянные интегрирования.

Пользуясь граничными условиями, находим, что

тогда $\dots$ (2.3)

Эти равенства удовлетворяют как уравнению поля (2.2), так и вышеприведенным граничным условиям (2.3), следовательно, решение задачи следующее:

$$(2.4)$$

В плоскости симметрии полюсов
плоскости межполюсного расстояние:

, а в

(2.5)

Таким образом, в плоскостях системы, проходящих через середину полюсов и обмоток, уравнение (2.4) имеет вид:

– над серединой полюсов

– над серединой обмоток

}
}

(2.6)

У поверхности полюса, где y , равенство (2.6) имеет вид:

(2.7)

Следовательно, зависимости (2.4-2.7) описывают распределение напряженности поля, что позволяет их использовать при определении силы магнитного поля, действующей на ферромагнитные тела в рабочей зоне сепараторов, снабженных магнитными системами с открытой многополюсной системой.

2.1.2. Влияние сил на ФМЧ в рабочей зоне многополюсной магнитной системы

В общем виде силы, действующие на ФМЧ в процессе извлечения их магнитным полем из высокодисперсных материалов представлены в векторной форме (по второму закону механики):

(2.8)

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

Формулировки для выражения сил, входящих в (2.8) известны:

– сила сопротивления среды (рассмотрена без учета столкновения ФМЧ с частицами дисперсного материала):

$$); \quad \text{при } RE \geq 2, \quad (2.9)$$

где d_T – диаметр тела, м;
 η_C – „кажущая” динамическая вязкость среды, в которой находится тело, Па·с;

u – скорость движения тела, м/с;

RE – число Рейнольдса.

– сила тяжести:

$$, \quad (2.10)$$

где g – ускорение свободного падения, $9,81 \text{ м/с}^2$;

ρ – плотность тела, кг/м^3 .

Принимая к расчету силу Архимеда (удельная сила), (2.10) примет вид:

$$, \quad (2.11)$$

– сила магнитного поля зависит от параметров тела, магнитного поля и в общем виде записывается [7, 71]:

$$F_M = , \quad (2.12)$$

где $\mu_0 = 4\pi \cdot 10^{-7} \text{ Гн/м}$;

χ_T – магнитная восприимчивость тела;

V – объём тела, м^3 ;

H – напряженность магнитного поля, А/м ;

$\text{grad } H$ – скорость изменения магнитного поля в направлении движения тела, А/м^2 .

Магнитные параметры χ_T , χ_B связаны между собой соотношением

$$, \quad (2.13)$$

где χ_B – магнитная восприимчивость вещества;

N – коэффициент формы.

Рассматривая данную систему, напряженность поля в общем виде определяется [68]:

$$. \quad (2.14)$$

Применительно к рассматриваемой системе (рис.2.1), напряженность поля по осям x – y равна (2.14):

(2.15)

Дифференцировании (2.14) позволит получить скорость изменения магнитного поля:

(2.16)

Дифференцируя (2.15) по соответствующим осям координат x - y , получим:

$$\left. \begin{aligned} & \\ & \end{aligned} \right\} \quad (2.17)$$

Подставляя выражения (2.14) и (2.16) в уравнение силы магнитного поля (2.12) получим:

$$\quad \quad \quad (2.18)$$

Таким образом, все ферромагнитные частицы при попадании в рабочую зону сепаратора, подвержены воздействию силы магнитного поля, которая направлена в направлении полюсов электромагнита, действие которой зависит как от параметров частиц (χT – магнитной восприимчивости, V – объема), так и от параметров поля (s – расстояния между полюсами, H_0 – напряженности на полюсе электромагнита, y – положения частицы относительно полюса по вертикали).

На основании предложенных зависимостей (2.8, 2.9, 2.11, 2.18) была разработана математическая модель поведения ферромагнитных частиц в рабочей зоне извлечения сепаратора, снабженного открытой многополюсной системой.

Принимая, что $\quad \quad \quad$, получим:

$$\quad \quad \quad (2.19)$$

Применительно к конкретной электромагнитной системе, создающей магнитное поле уравнение (2.19) в дифференциальной форме, записанное относительно скорости u и траектории (пути) y , примет вид:

.3

(2.20)

с начальными условиями: при $t = 0$; $t(0) = 0$; $u_y(0) = 0$; $y(0) = y$.

Дифференциальные уравнения системы (2.20), описывающие движение магнитной частицы в рабочей зоне магнитных сепараторов с открытой многополюсной системой исследовались численным методом Рунге-Кутты [63] на ПЭВМ с целью выявления недостатков и определения эффективности их работы. Результаты приведены на рис. 2.2.

Исходные данные:
Вязкость среды, Па·с; магнитная постоянная, Гн/м;
плотность ФМЧ (сталь), кг/м³; магнитная восприимчивость ФМЧ
0.01 ; межполюсный шаг , м;
Размер ФМЧ м.
Результаты моделирования математической модели (2.20) динамики ФМЧ в магнитном поле электромагнитных сепараторов с открытой многополюсной системой позволяют определить следующее:

- размер ФМЧ 25мкм;
- размер ФМЧ 20мкм;
- размер ФМЧ 15мкм;
- размер ФМЧ 5 мкм.

Время,
, с

Рис.2.2. Скорость u и время t движения ФМЧ в рабочей зоне электромагнита с полюсами чередующейся полярности:

– максимальное расстояние, с которого извлекаются ФМЧ размером от 5 до 20 мкм из потока дробленого зерна, при сепараторах с открытой многополюсной системой составляет 5–20мм, в то время как размер труб, по которым транспортируется перерабатываемый материал, составляет не менее 90мм. Если принять, что средняя скорость ФМЧ и этого диапазона составляет 3 м/с (в процессе их извлечения и без учета реальной скорости транспортирования), а время прохождения t в рабочей зоне магнитного сепаратора 0,14 с, то фактическая длина поверхности извлечения должна быть не менее 0,42 м, что больше реальной длины минимум на 0,22 м. Таким образом, основная масса ФМЧ, размером 20 мкм и ниже не извлекается и попадут в готовую продукцию.

2.2. Электромагнитные сепараторы циклонного типа. Метод расчета

Наиболее эффективно магнитные сепараторы циклонного типа применяются при очистке сыпучих дисперсных материалов от магнитных частиц, размер которых составляет не более 20 мкм.

В настоящее время точного аналитического расчета степени очистки мелкодисперсных сыпучих материалов от примесей и ее связи с основными

размерами циклона нет. Вопрос о наилучшей конструкции аппарата чаще всего решается экспериментальным путем [23, 31, 32, 35, 36].

В свою очередь этапы существующих расчетов очистки дисперсных сыпучих материалов следующие [83, 95]:

1. Определение минимального размера частиц:

$$\dots \quad (2.21)$$

где R_2 – радиус циклона; R_1 – радиус выходной трубы; $W_{вх}$ – скорость сыпучих материалов в узком сечении входного патрубка; N – число витков газового потока в циклоне; μ – вязкость среды; ρ – плотность частицы.

Число оборотов N газового потока в циклоне определяется экспериментально. Фукс Н.А. [73, 74] и Циборовский Я. [83] считают, что N лежит в пределах от 1-1,5 до 3; Грин Х. и Лейн В. для N дают диапазон от 3 до 5.

2. Определение гранулометрического состава частиц (весового или счетного) – определяется фракционная, а затем общая степень очистки. Фракционная степень очистки по Фуксу Н.А. вычисляется по формуле [73]:

$$\dots \quad (2.22)$$

где h – ширина входного патрубка; Z_i – расстояние от входящих в циклон частиц до его цилиндрической стенки. d_i – диаметр i -й частицы.

Циборовский Я. фракционную степень очистки определяет по выражению [83]:

$$\dots \quad (2.23)$$

Но предложенные выражения (2.21-2.23) не учитывают ни входную ни выходную концентрации частиц.

Необходимо отметить, что степень очистки мелкодисперсных сыпучих материалов от примесей не является определяющим параметром циклона. Говоря о высокой степени очистки циклоном, нельзя утверждать о высоком качестве очищаемого дисперсного материала, так как при увеличении входной концентрации частиц увеличивается и их пропуск через аппарат. Поэтому определяющей характеристикой циклона является концентрация частиц в очищенном потоке.

Основываясь на имеющейся информации по теории и практике применения циклонов, был сформулирован расчет [83] выходной концентрации примесей после электромагнитного циклона.

В общем виде степень очистки мелкодисперсных сыпучих материалов от примесей аппаратом любого типа определяются известными уравнениями:

(2.24)

(2.25)

где C_i – весовая концентрация частиц размером d_i ;

$C_{вх}$ и $C_{вых}$ – входная и выходная концентрации частиц соответственно;

Ξ_i – фракционная степень очистки потока.

Приравнивая (2.24 и 2.25) между собой, и решая относительно $C_{вых}$, получим:

$$\dots \quad (2.26)$$

Фракционную степень очистки Ξ_i определим из условия равномерного распределения частиц в потоке мелкодисперсных сыпучих материалов.

Отношение $\dots$ показывает долю частиц, которая будет уловлена циклоном, т.е. фракционная степень очистки определится:

$$\dots \quad (2.27)$$

где r_i – путь, пройденный частицей в радиальном направлении за время нахождения ее в цилиндрической части циклона, который можно определить как:

$$\dots \quad (2.28)$$

где U_i – скорость частицы в радиальном направлении;

$t_{ц}$ – время пребывания частицы в цилиндрической части циклона.

Время $t_{ц}$ определим, исходя из производительности циклона и геометрических размеров цилиндрической его части:

$$\dots \quad (2.29)$$

где $V_{ц}$ и $h_{ц}$ – объем и высота цилиндрической части циклона соответственно;

Q – подача циклона;

a – постоянная, корректирующая время пребывания частиц в циклоне.

Радиальную скорость U_i определим на основании сил, действующих на частицы. Сила в радиальном направлении равна:

$$\dots \quad (2.30)$$

где m_i – масса частицы;

$W_{вх}$ – скорость потока в узком сечении входного патрубка;

R_i – радиус кривизны траектории частиц в циклоне.

Для частиц каждой фракции R_i – переменная величина, в среднем ее можно принять равной $\frac{1}{2} R_{\text{ср}}$. Сила сопротивления среды, препятствующая движению частиц определяется законом Стокса по формуле:

$$F_{\text{ср}} = 3\pi \eta d_i v_i \quad (2.31)$$

Приравнявая (2.30) и (2.31) решая относительно скорости частиц, получим:

$$v_i = \frac{Q}{F_{\text{вх}}} \quad (2.32)$$

С учетом (2.32), (2.27), (2.28) и при условии, что $Q = F_{\text{вх}} \cdot W_{\text{вх}}$, фракционная степень очистки будет определяться выражением ε_i :

$$\varepsilon_i = \frac{d_i^2}{d_{\text{к}}^2} \quad (2.33)$$

где $F_{\text{вх}}$ – площадь узкого сечения входного патрубка.

Правая часть выражения (2.33) может принимать значения: $\varepsilon_i > 1$ – при этом частицы размером d_i улавливаются полностью на высоте циклона, меньше конструктивной $h_{\text{к}}$; ε_i циклона $h_{\text{к}}$; $\varepsilon_i < 1$ – конструктивной высоты циклона $h_{\text{к}}$ недостаточно для полного улавливания частиц.

Таким образом, при определении фракционной степени очистки дисперсного материала от частиц циклоном необходимо соблюдать условия:

$$\begin{aligned} &\text{если } \varepsilon_i > 1, \\ &\text{если } \varepsilon_i < 1. \end{aligned} \quad (2.34)$$

При наличии в цилиндрической части циклона радиального магнитного поля напряженностью H , частицы будут взаимодействовать между собой, образуя флокулы в виде цепочек, ориентированных по направлению силовых линий поля. Время, необходимое для флокулообразования [94], должно быть меньше или равно времени нахождения частиц в цилиндрической части циклона, т.е. $t_{\text{ф}} \leq t_{\text{ц}}$, и с учетом (2.29) временное условие будет иметь вид:

$$t_{\text{ф}} \leq t_{\text{ц}} \quad (2.35)$$

При выполнении условия (2.35) в циклоне будут образовываться флокулы массой $m_{\text{ф}}$ и фракционная степень очистки (2.33) будет определяться по формуле:

$$\varepsilon_i = \frac{m_{\text{ф}}}{m_i} \quad (2.36)$$

Учитывая цепочное строение флокул, приближенно можно принять, что их диаметр равен диаметру частиц ($d_{\text{ф}} = d_i$), масса флокулы равна массе частицы, умноженной на их количество ($m_{\text{ф}} = n_{\text{ф}} \cdot m_i$); тогда:

Записывая в
окончательный вид
магнитным полем:

(2.37)

им
радиальным

а)

б)

в)

г)

д)

при условии: если

если

(2.38)

Основными недостатками сепараторов циклонного типа с наложением радиального магнитного поля является размер извлекаемых частиц и степень дисперсности очищаемого материала. Следовательно, чем ниже размер извлекаемых примесей (менее 20 мкм) и дисперсность материала (например, дробленое зерно, мука, крупы и т.д.), степень извлечения магнитных частиц будет снижаться.

2.3. Магнитное поле концентраторов

Анализ предыдущих конструкций показал их несовершенство. Одним из возможных путей для ликвидации недостатков является совершенствование рабочих зон, например, путем размещения в них концентраторов поля (будь то системы доочистки в циклонах или самостоятельные сепараторы) – сферических (или другой формы) тел определенного размера (рис.2.3), установленных в шахматном порядке и имеющие высокую магнитную проницаемость (например, близкую к электротехнической стали).

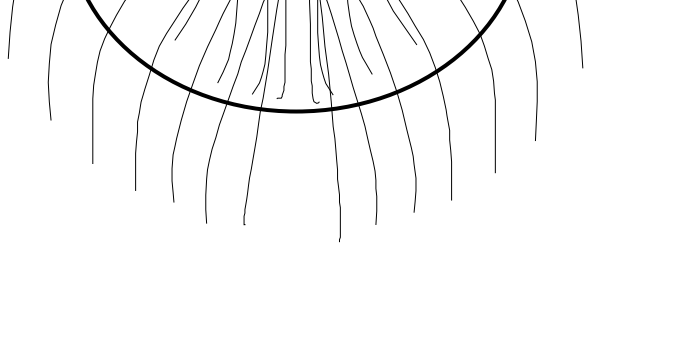


Рис.2.3. Сферический концентратор.

Напряженность поля вблизи концентратора, помещенного в неоднородное магнитное поле ($\text{grad } H \neq 0$), определяется выражением [50, 54, 55]:

(2.39)

где μ – магнитная проницаемость частицы;
 d_c – диаметр концентратора (центра);
 R – текущая координата между частицей и концентратором;
 H_0 – напряженность поля внешнего источника (электромагнитной обмотки);
 α – угол, определяющий местоположение частицы в пространстве;

k – коэффициент;

Процесс извлечения ферромагнитных частиц происходит благодаря тому, что концентраторы искажают поле, т.е. вблизи „центров” $\text{grad } H \neq 0$. На рис.2.4. показана схема взаимодействия частиц с „центрами”.

Рис.2

В дан... ность внешнего источника Н0 представляет собой напряженность, создаваемую током, проходящим в электромагнитной обмотке.

В частном случае, при отсутствии концентраторов, в электромагнитной обмотке на частицы действует сила магнитного извлечения FM, которая вызывает их движение к точкам поля с наибольшей напряженностью. Такие точки в электро-

магнитной обмотке расположены на внутренней её поверхности, при чем сила магнитного поля FM с приближением к оси у увеличивается (рис.2.5.б). Электромагнитные обмотки, создающие магнитное поле имеют самое разнообразное конструктивное оформление (круглые, овальные, прямоугольные).

Из приближенного расчета индукции B0 магнитного поля на оси круглой электромагнитной обмотки (в отсутствии магнитного наполнителя) К.А.Круг [37] получил аналитическое выражение (рис.2.5.а):

$$(2.40)$$

где $I \cdot W$ - количество ампервитков катушки;

l_c - её длина;

β_1, β_2 – углы между осью катушки и его концами при перемещении точки M по оси x.

Рис.2.5. Электромагнитная обмотка:

а) – конструктивное исполнение;

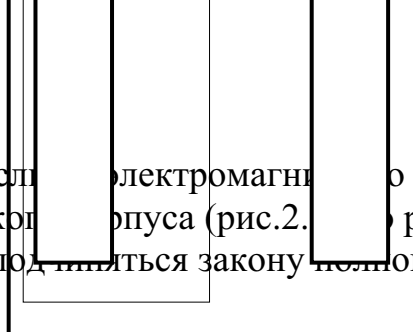
б) – распределение напряженности по оси у.

Заменяя $\cos \beta_1, \cos \beta_2$ через размеры электромагнитной обмотки и текущую координату у точки M и учитывая, что индукция связана с напряженностью поля соотношением получим:

$$(2.41)$$

где r_c – средний радиус электромагнитной обмотки.

Но если электромагнитную обмотку „одеть” бандаж в виде металлического корпуса (рис.2.6) распределение напряженности магнитного поля будет подчиняться закону полного тока, для замкнутых магнитопроводов [71]:



(2.42)

где l_0 , l_i – длина средней силовой линии в воздушном зазоре и в магнитопроводе (корпусе) соответственно;

H_i – напряженность поля в магнитопроводе (корпусе).

Рис.2.6. Электромагнитная обмотка с металлическим корпусом:

а) – конструктивное исполнение;

б) – распределение напряженности по оси y .

Так как напряженность с корпусе очень мала, следовательно произведением $H_i \cdot l_i$ можно пренебречь и выражение (2.42) будет иметь вид:

(2.43)

Дифференцируя (2.39) по R и записывая в виде определим скорость изменения магнитного поля в области концентратора:

(2.44)

Зная распределение напряженности H_R (2.41) и скорости её изменения

(2.44), определим силу магнитного поля F_M , действующую на ферромагнитную частицу в области концентратора:

(2.45)

Таким образом, ферромагнитные частицы при попадании в область изменения магнитного поля концентратора в сепараторе или системе доочистки циклона, подвержены воздействию силы магнитного поля, которая направлена в направлении „центров” осаждения, действие которой зависит от параметров частицы (χ_T – магнитной восприимчивости, d_T – её размеров), от положения частицы R в области магнитного поля концентратора и геометрических

параметров концентраторов d_c .

На основании предложенных зависимостей силы магнитного поля (2.45) и ранее рассмотренных сил сопротивления среды и тяжести, была разработана математическая модель поведения ферромагнитных частиц в рабочей зоне сепаратора, снабженного концентраторами магнитного поля.

2.4. Математическая модель динамики частиц в магнитном поле электромагнитных сепараторов, снабженных концентраторами

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

Согласно второго закона механики (2.8) и выражений (2.9, 2.11 и 2.45), результирующее значение следующее:

(2.46)

Применительно к конкретной электромагнитной системе, создающей магнитное поле уравнение (2.46) в дифференциальной форме, записанное относительно скорости u и траектории (пути) x , примет вид:

2.47)

с начальными условиями: при $t = 0$; $t(0) = 0$; $u(0) = u_0$; $R(0) = R_0$.

где

Полученная система дифференциальных уравнений (2.47) является математической моделью движения ФМЧ в магнитном поле рабочей зоны сепаратора, снабженного концентраторами сферической формы.

С целью определения основных динамических характеристик движения ФМЧ – времени t , скорости u и траектории перемещения x к поверхности концентраторов, система уравнений (2.49) многократно решались численным методом Рунге-Кутты [63] на ПЭВМ, при варьировании следующих параметров: размер дробленого зерна, насыпной вес; ФМЧ – размер, форму, плотность, магнитную восприимчивость; источник магнитного поля – напряженность H и

скорость ее изменения $\text{grad } H$ по направлению движения ФМЧ.

С целью наглядности представления результатов и для более качественного анализа одновременно исследовалось движение нескольких сферических ФМЧ. Для этого была запрограммирована система из 15 дифференциальных уравнений (по 3и на каждое тело), при условии, что ФМЧ не взаимодействуют между собой.

Ниже приведен компьютерный вариант записи системы уравнений (2.49) для 5и сферических ФМЧ:

Исходные данные:				
Вязкость среды,	Па·с;	магнитная постоянная,	Гн/м;	
плотность ФМЧ (сталь),	кг/м ³ ;	магнитная восприимчивость ФМЧ		
; размер ФМЧ:				м;
размер концентраторов:	,	,	,	м

где $x_0(t)$, $x_2(t)$, $x_4(t)$, $x_6(t)$, $x_8(t)$ – скорость движения ФМЧ (соответствующих размеров) к концентраторам, м/с;

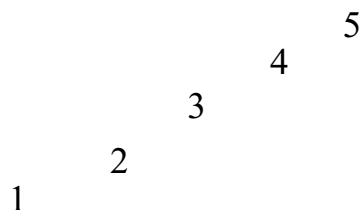
$x_0(0)$, $x_2(0)$, $x_4(0)$, $x_6(0)$, $x_8(0)$ – начальная скорость движения тех же частиц, м/с;

$x_1(t), x_3(t), x_5(t), x_7(t), x_9(t)$ – расстояние осаждения ФМЧ на поверхности концентратора, м;

, – коэффициенты.

На рис. 2.7-2.12 показаны результаты численного интегрирования математических моделей (2.47), а именно графические зависимости изменения скорости u и расстояния x перемещения ФМЧ относительно времени t в магнитном поле рабочей зоны сепаратора при изменении различных параметров ФМЧ и поля (размер тела, напряженность поля).

Скорость ФМЧ, u , м/с



M

5'

4'

3'

2'

1'

Рис.2.7. Скорость u и время t движения магнитной частицы в рабочей зоне электромагнита с концентраторами: размер концентратора $d_{11}=1\text{мм}$, напряженность поля $H = 4,0 \cdot 10^4 \text{ А/м}$, размер частиц 1-1/2-2/3-3/4-4/5-5/

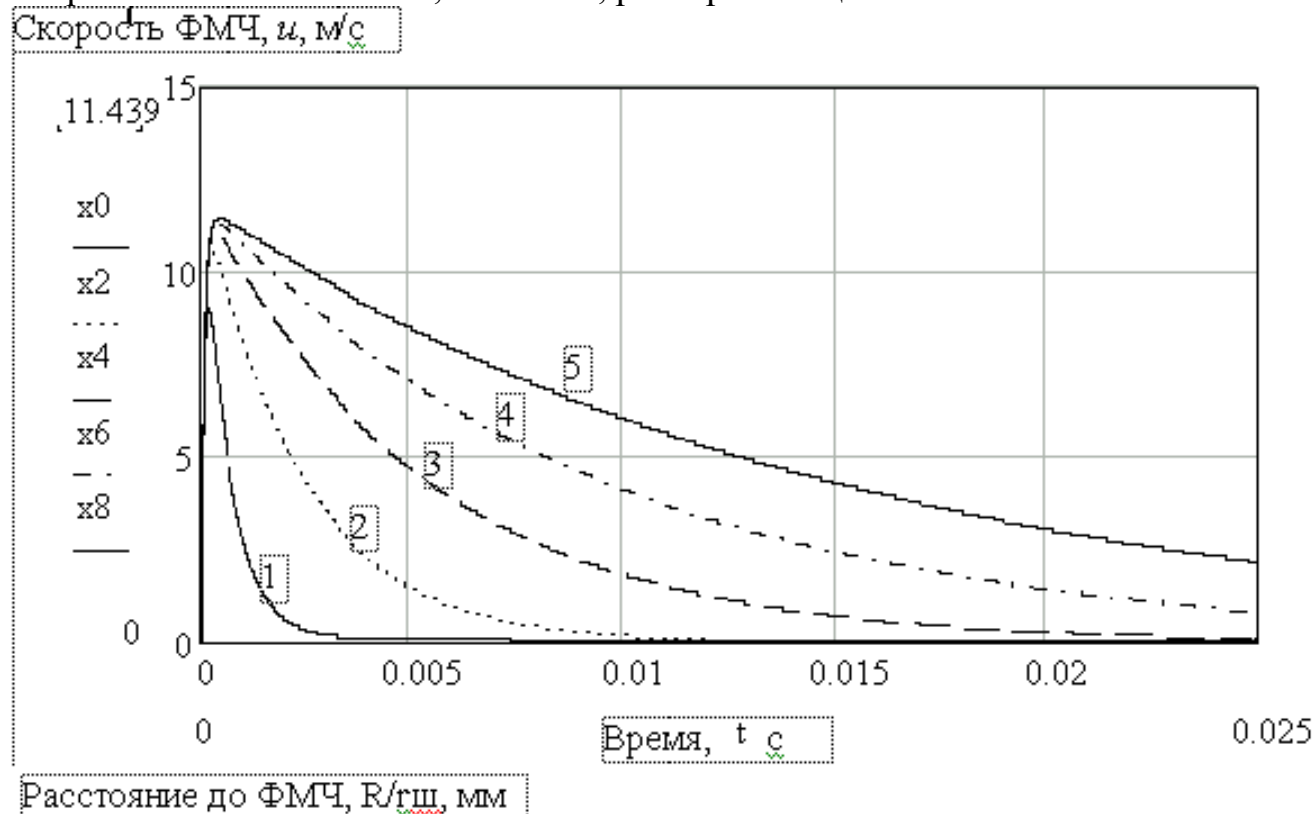
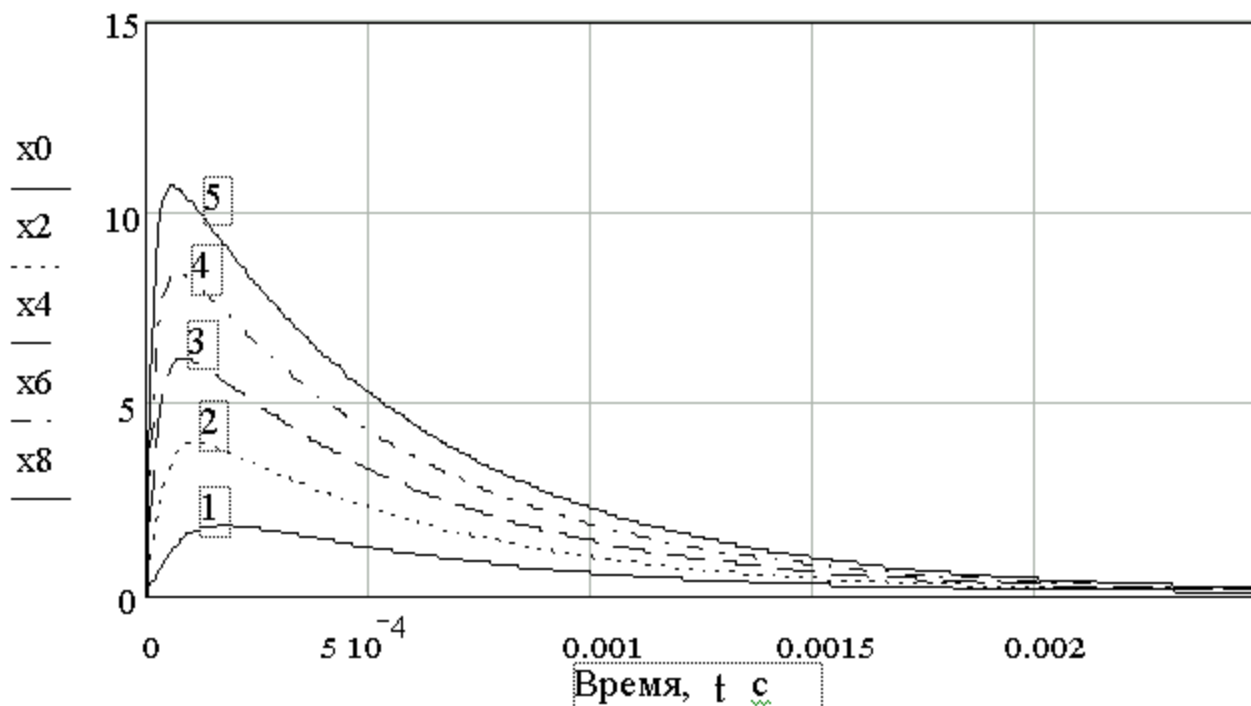


Рис.2.8. Скорость u и время t движения магнитной частицы в рабочей зоне электромагнита с концентраторами: размер концентратора $d_{15}=5\text{мм}$, напряженность поля $H = 4,0 \cdot 10^4 \text{ А/м}$, размер частиц 1-1/2-2/3-3/4-4/5-5/

Скорость ФМЧ, u , м/с



Расстояние до ФМЧ, $R/\text{гш}$, мм

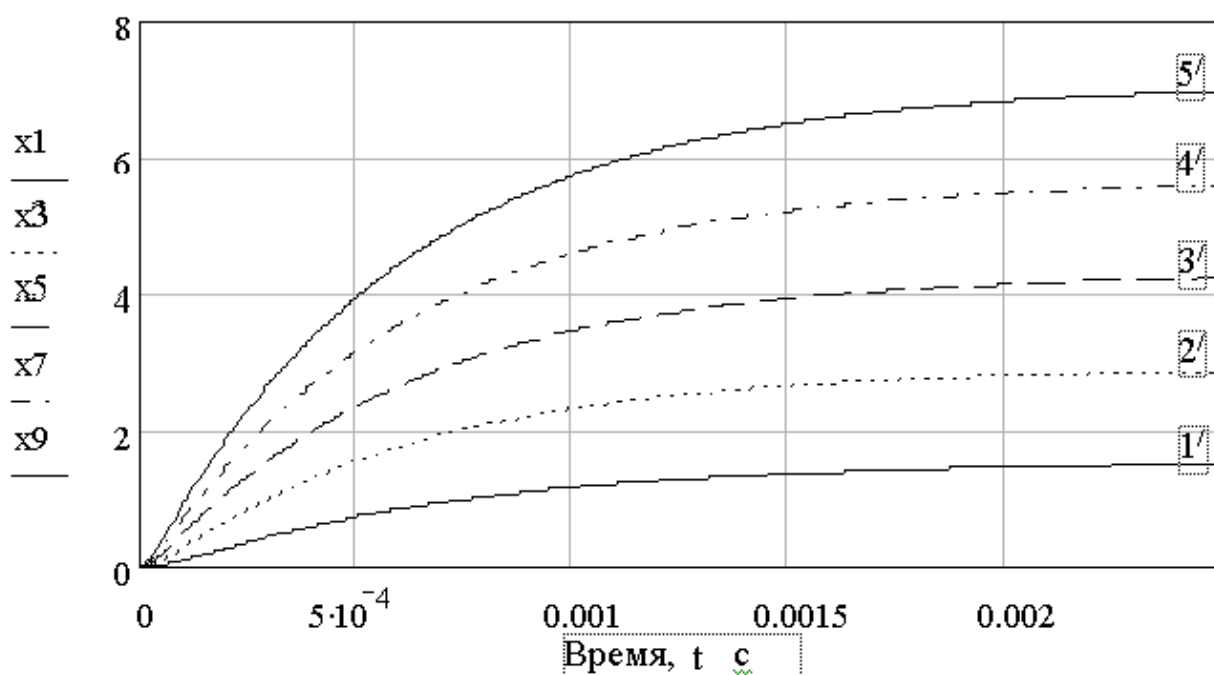


Рис.2.9. Скорость u и время t движения магнитной частицы в рабочей зоне электромагнита с концентраторами: размер концентратора $d_{l1}=1\text{ мм}$, размер частицы = 5 мкм; напряженность поля H 1-1/ $0,8 \cdot 10^4$ А/м, 2-2/ $1,6 \cdot 10^4$ А/м, 3-3/ $2,4 \cdot 10^4$ А/м, 4-4/ $3,2 \cdot 10^4$ А/м, 5-5/ $4,0 \cdot 10^4$ А/м.

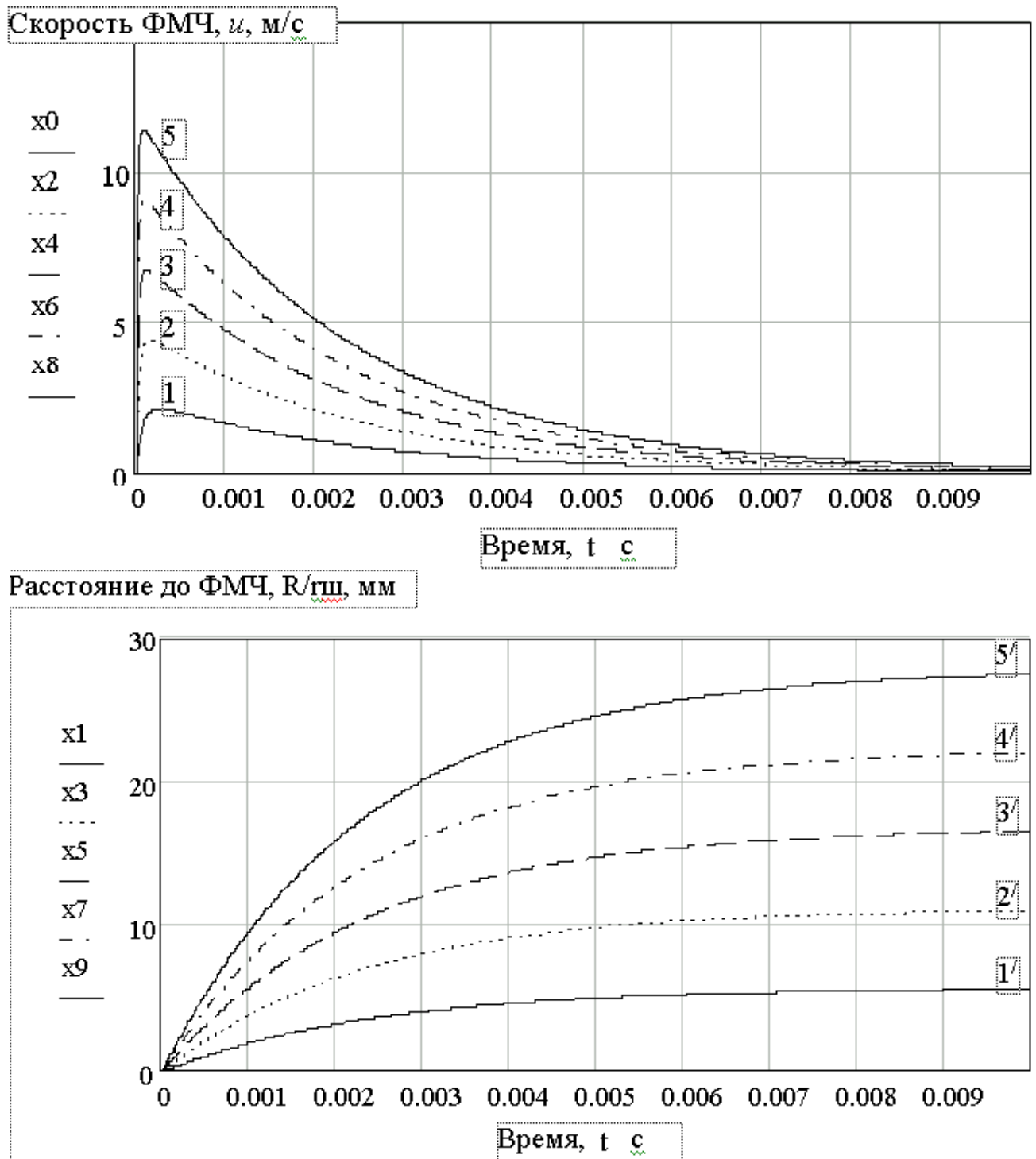


Рис.2.10. Скорость u и время t движения магнитной частицы в рабочей зоне электромагнита с концентраторами: размер концентратора $d_{l1}=1$ мм, размер частицы = 10 мкм; напряженность поля H 1-1/4 А/м, 2-2/4 А/м, 3-3/4 А/м, 4-4/4 А/м, 5-5/4 А/м.

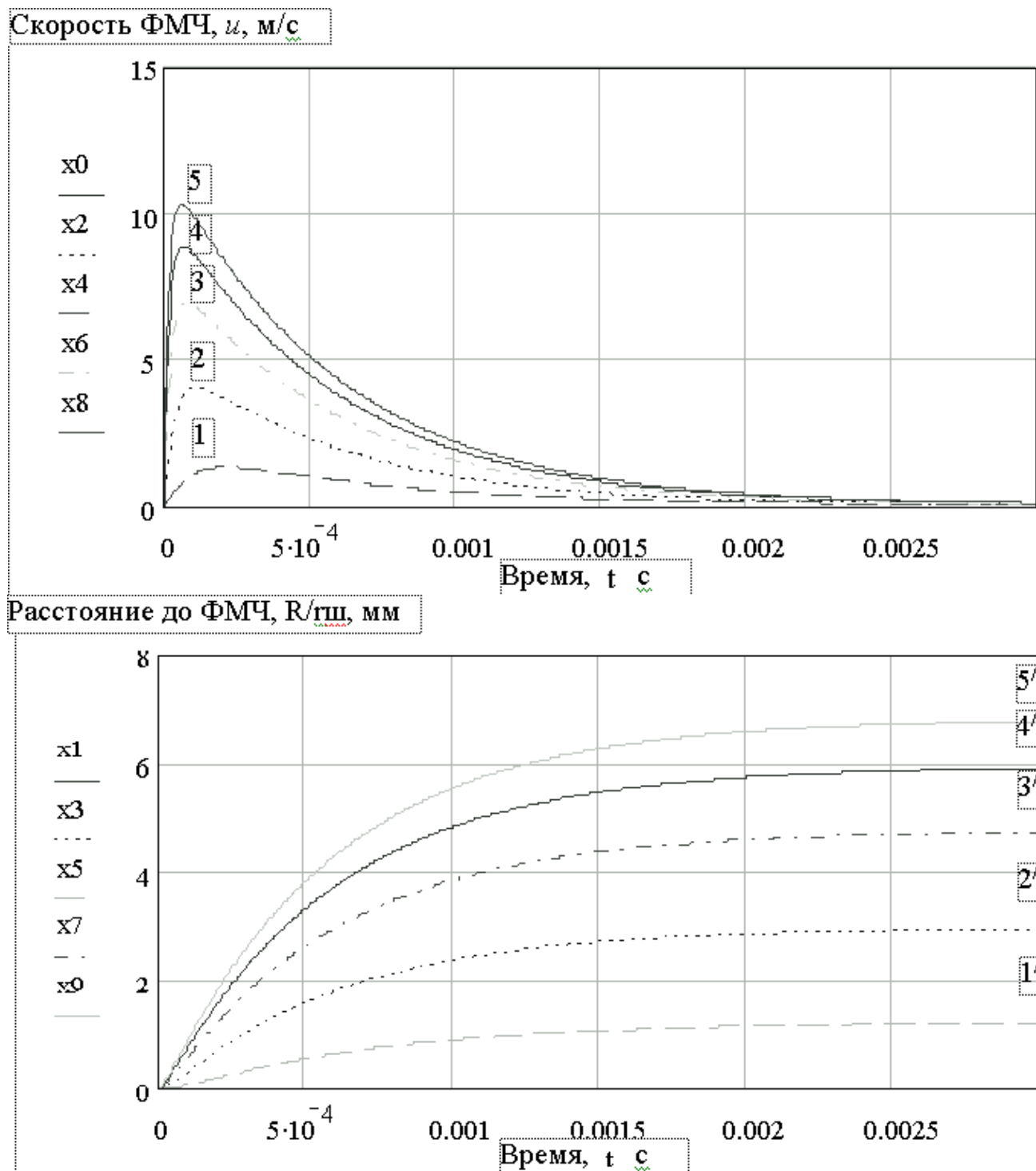
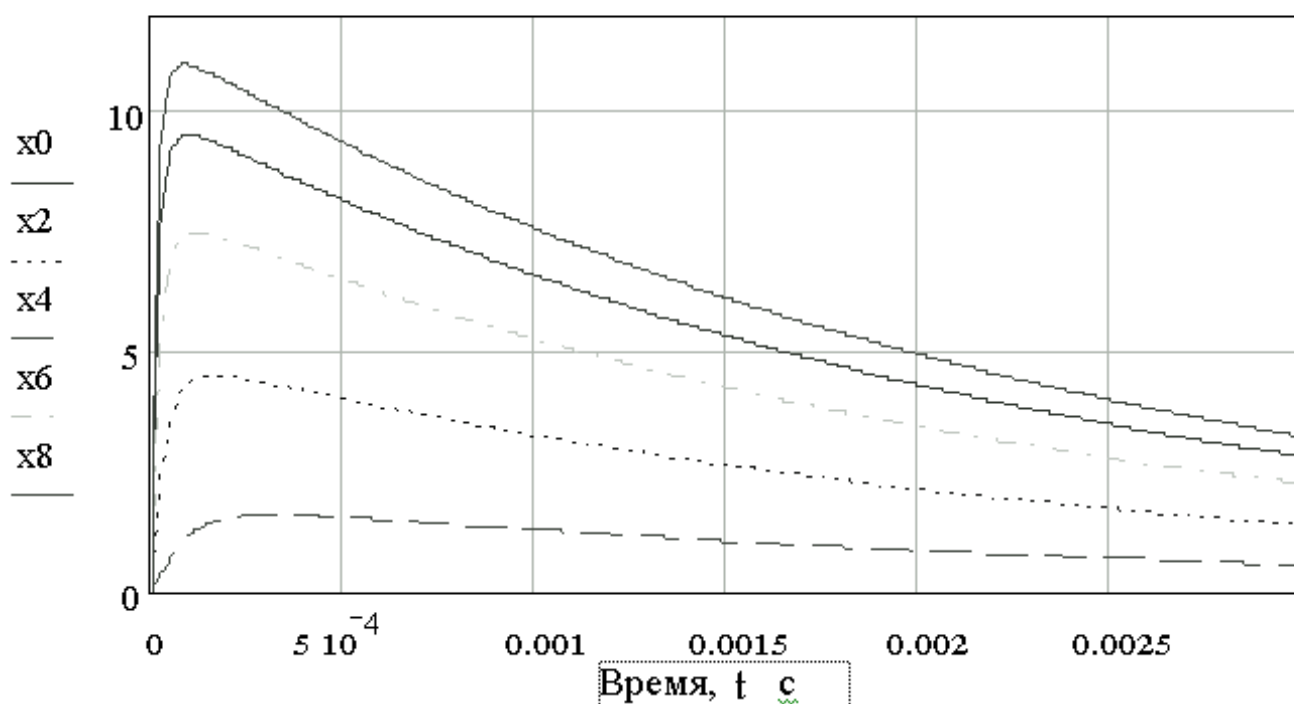


Рис.2.11. Скорость u и время t движения магнитной частицы в рабочей зоне электромагнита с концентраторами: размер концентратора $d_{l1}=1\text{ мм}$, размер частицы $= 5\text{ мкм}$; напряженность поля $H = 4,0 \cdot 10^4\text{ А/м}$; угол полета частицы по отношению к концентратору α 1-1/ 500, 2-2/400, 3-3/0, 4-4/200, 5-5/100.

Скорость ФМЧ, u , м/с



Расстояние до ФМЧ, $R/\text{гш}$, мм

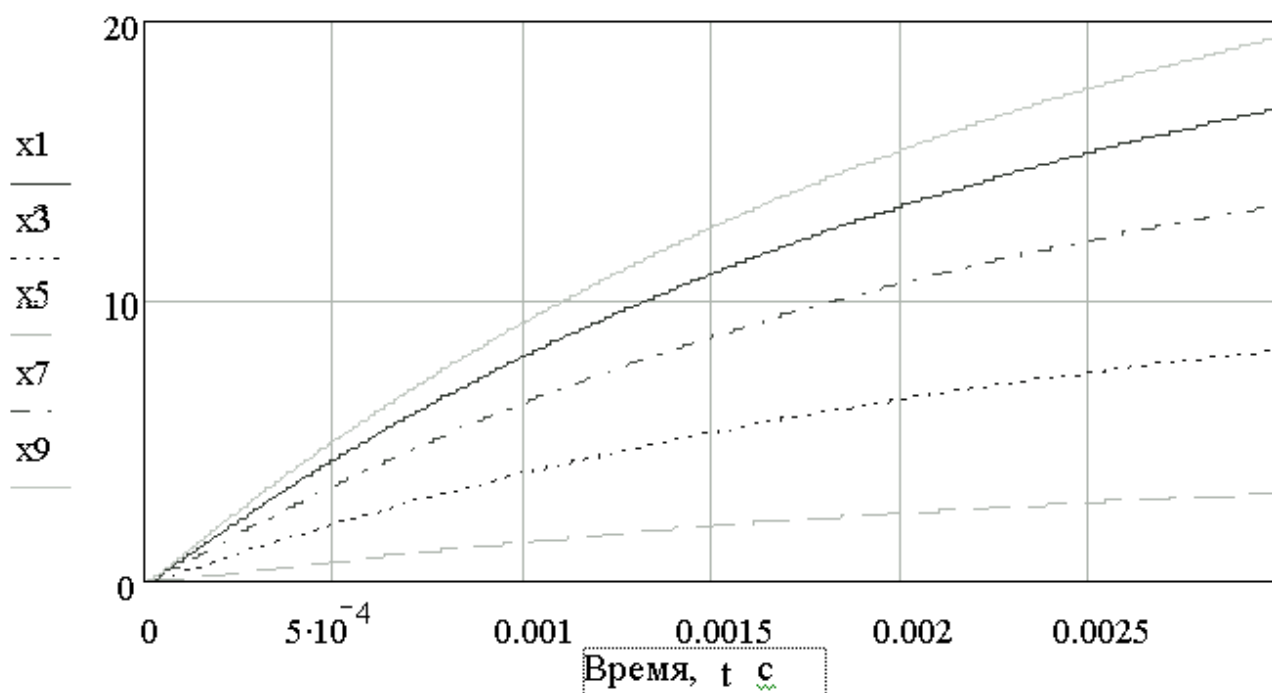
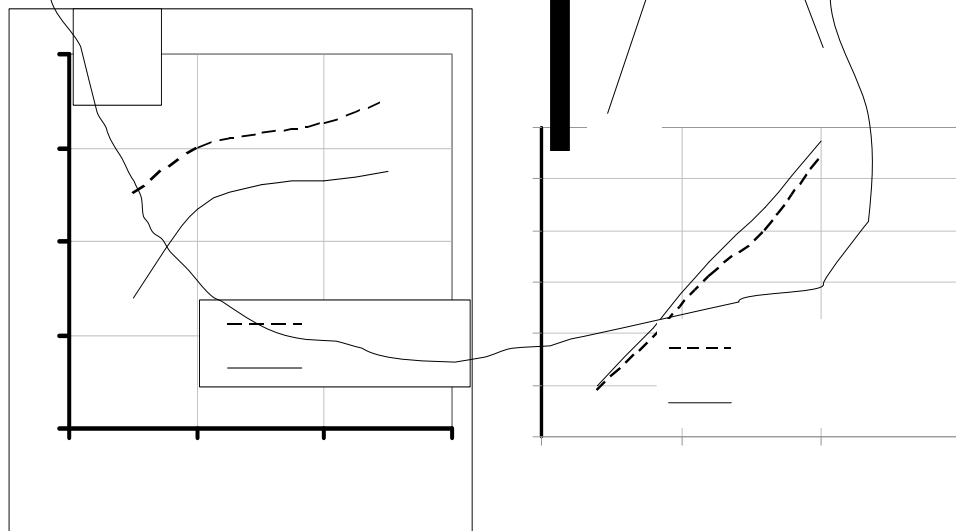


Рис.2.12. Скорость u и время t движения магнитной частицы в рабочей зоне электромагнита с концентраторами: размер концентратора $d_{l1}=1\text{ мм}$, размер частицы = 10 мкм; напряженность поля $H = 4,0 \cdot 10^4 \text{ А/м}$; угол полета частицы по отношению к концентратору α 1-1/0, 2-2/0, 3-3/0, 4-4/0, 5-5/0.

Зависимости 1-5 на графиках показывают изменение скорости и осаждения частиц на концентратор при изменении параметров магнитного поля (

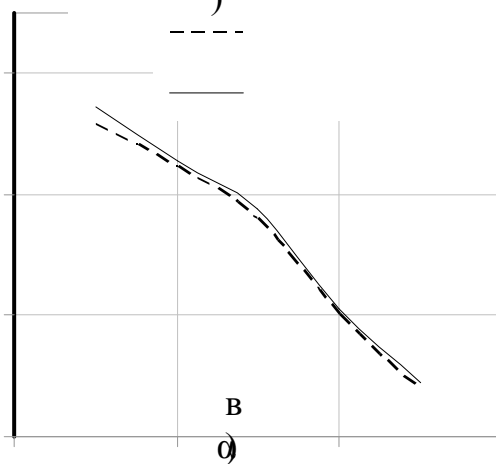
напряженности внешнего источника) и размеров концентраторов. Зависимости 1/5/ показывают отношение размера концентратора к его расстоянию (путь, пройденный частицей к концентратору при ее попадании в зону извлечения).

Результаты моделирования математических моделей динамики ФМЧ в магнитном поле электромагнитных сепараторов, снабженных концентраторами поля позволяют сделать вывод (рис.2.13):



а

б



в

г

Рис. 2.13. Результаты решения дифференциальных уравнений:

а, б, в – графики зависимости скорости соприкосновения частиц с концентратором от размера частиц, напряженности поля и угла направления частицы к полюсу соответственно.

от 5 до 25 мкм) составляет 12 м/с, при концентраторах разного диаметра (от 1 до 5 мм) (α составляющих) меняется

ли скомпоновать концентраторы таким

этом „а“
5мкм) п
практич

образом, что сумма „активных зон“ извлечения будет равна рабочему объему сепарации, то степень извлечения будет достигать в диапазоне 95–99% (разд. 3);

Рис. 2.14. Конструктивные параметры сепараторов с концентраторами:
а, в – расстояние между концентраторами в горизонтальном и вертикальном направлениях.

Табл. 2.1.

Конструктивные параметры компоновки концентраторов, при извлечении
ФМЧ размером 5мкм.

Расстояние между концентраторами	Диаметр концентраторов				
	1 мм	2 мм	3 мм	4 мм	5 мм
по горизонтали, а, мм	8	7	5	3	0,8
по вертикали, в, мм	16	14	12	8	6,5

– при изменении напряженности в 5 раз (от $0,8 \cdot 10^4$ до $4,0 \cdot 10^4$ А/м) пропорционально меняется область, в которой частицы притягиваются к концентратору;

– разный размер частиц (от 5 мкм до 25 мкм) притягиваются не с одинакового расстояния – при напряженности $4,0 \cdot 10^4$ А/м частица ферромагнетика размером 5 мкм притягивается к концентратору с расстояния 7 мм, частица 10 мкм – 14 мм, 15 мкм – 20 мм и т.д.

Анализируя скорость соударения частицы в концентратор необходимо отметить, что она растет пропорционально увеличению напряженности, но не линейно (при увеличении напряженности в 5 раз скорость увеличивается в 6,2 раза). При одинаковых параметрах магнитного поля частицы большего размера (а следовательно большей массы) имеют скорость выше по отношению к мелким частицам.

Таким образом, исходя из (2.46), приравнивая силу магнитного поля и сопротивления среды (не учитывая силу тяжести из-за её малой величины) и решая относительно I , получим:

(2.48)

Зависимость (2.48) является основополагающей, так как объединяет основные параметры электромагнитного сепаратора: силу тока I , число витков W и высоту электромагнитной обмотки l_0 , размер концентраторов (диаметр спирали) d_c , активную зону извлечения R , положение частицы в момент соприкосновения $\cos \alpha$, размер частицы dT , а также параметры среды: вязкость η , магнитная проницаемость μ и скорость потока u .

В качестве примера, на рис 2.15 приведены зависимости силы тока в обмотке от положения частицы (шара) под полюсом (концентратором), т.е.

сопоставление теоретической зависимости (2.47) с экспериментом, вычисленным для разработанного электромагнитного сепаратора (разд. 3).

Важным элементом расчета электромагнитного сепаратора с концентраторами является определение эффективности его работы, выраженная через взаимосвязь с основными электротехническими параметрами устройства, указанными ранее.

Согласно предлагаемой методике, эффективность извлечения частиц в электромагнитном сепараторе будет определяться размером и количеством „зон не улавливания”, образованные по причине не полного охвата изменения магнит-

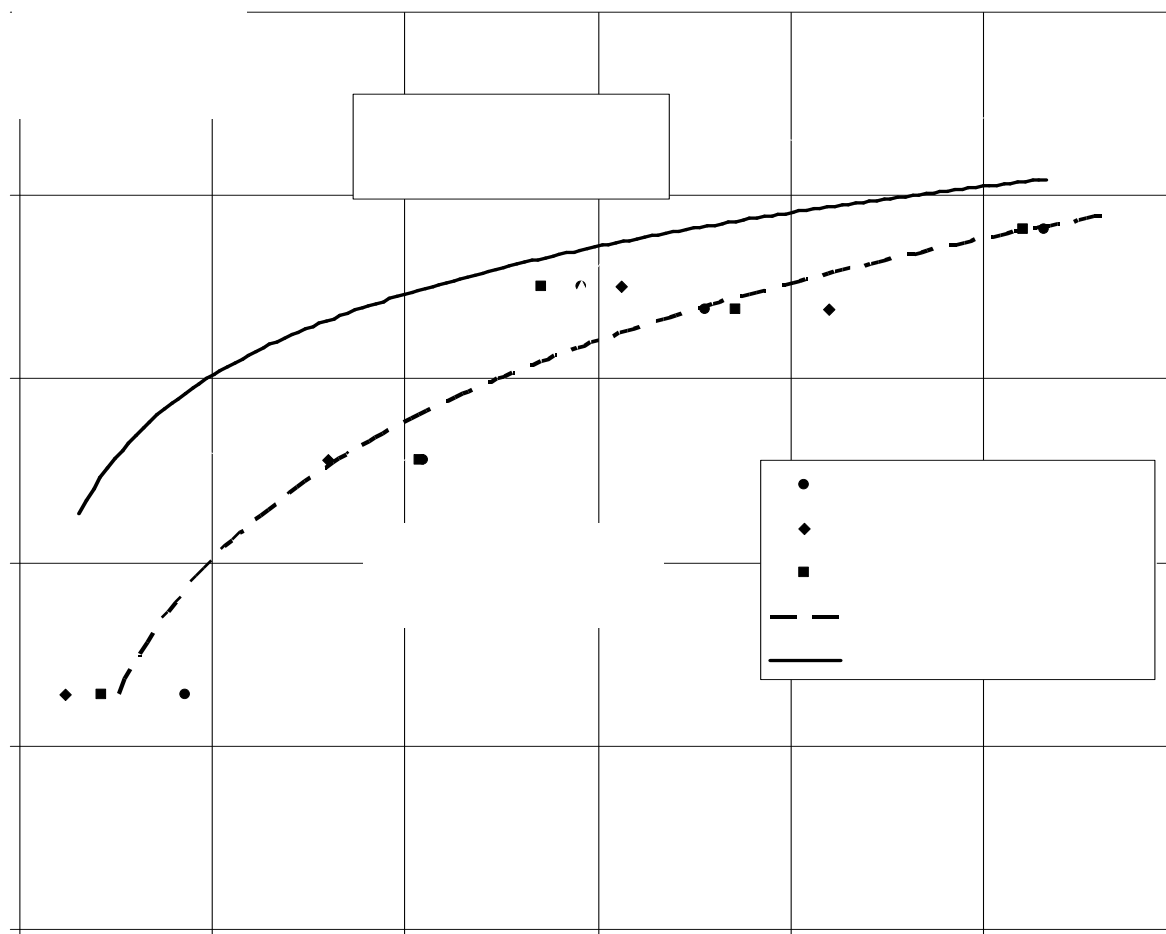


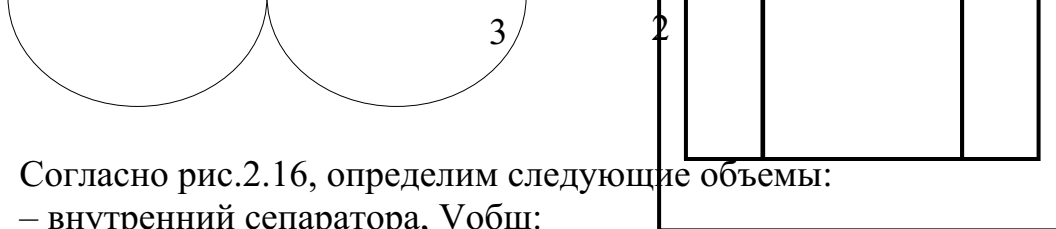
Рис.2.15. График зависимости $R_f(I)$ для шара.

ного поля вокруг каждого концентратора (рис.2.16).

Таким образом, эффективность определяется выражением (для данного случая):

$$\eta = \frac{V_{\text{общ}} - V_{\text{б.п.}}}{V_{\text{общ}}} \quad (2.49)$$

где $V_{\text{общ}}$ – внутренний объем сепаратора;
 $V_{\text{б.п.}}$ – объем „зон не улавливания”.



Согласно рис.2.16, определим следующие объемы:

– внутренний сепаратора, $V_{общ}$:

(2.50)

– занимаемый концентратором, V_k :

(2.51)

Рис.2.16. Распределение напряженности поля вокруг концентраторов:

1 – зона извлечения (полезный объем, V_p),

2 – концентратор (объем, занимаемый концентратором, V_k),

3 – „зоны не улавливания” (объем без поля, $V_{б.п.}$),

$d_{тр}$ – внутренний диаметр сепаратора,

l_0 – длина сепаратора.

– полезный, V_p , с учетом (2.48):

(2.52)

– без поля:

(2.53)

где n – количество концентраторов.

С учетом (2.50-2.53), выражение определения эффективности (2.49) примет вид:

(2.54)

В качестве примера, на рис 2.17 приведены зависимости эффективности извлечения от силы тока в обмотке сепаратора, вычисленные для разработанного электромагнитного сепаратора (разд.3) и сопоставленные с теоретической зависимостью (2.54) при следующих параметрах: размер концентратора $d_{ц1050\text{мм}}$, число витков $W_{аратора}$ $d_{тр1}(\text{var})$ 5 – 29А.

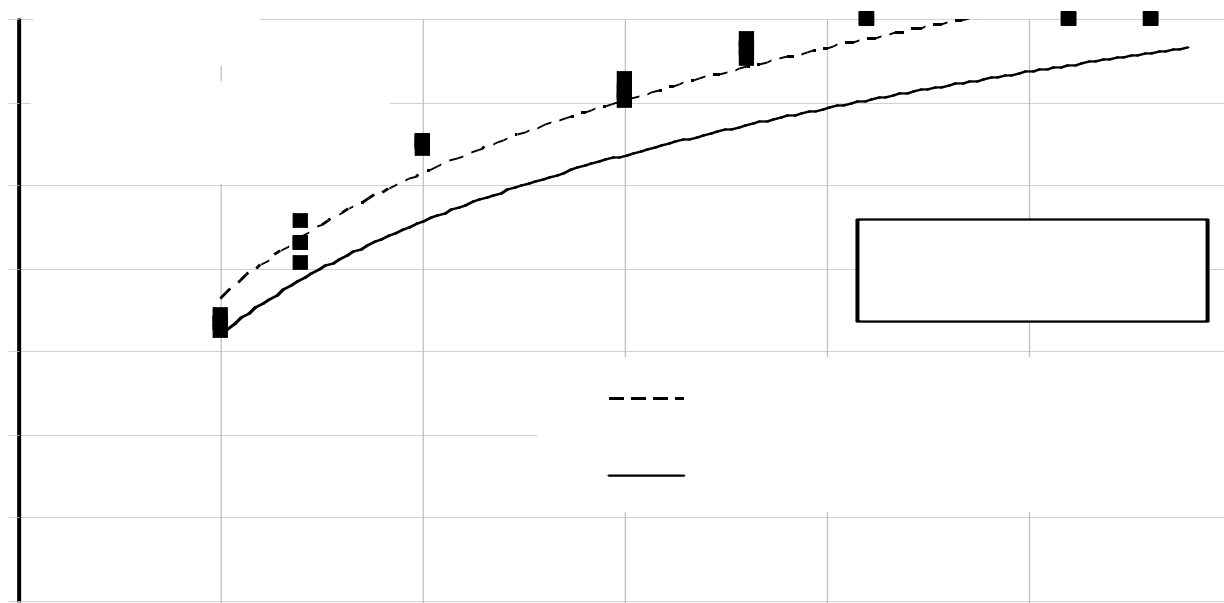


Рис. 2.17. Зависимость эффективности извлечения от силы тока в обмотке электромагнита.

Выводы

1. Для извлечения ФМЧ из потока муки, перемещаемой пневмотранспортом, следует применять электромагнитные сепараторы или циклоны, снабженные концентраторами поля, в качестве которых могут быть использованы тела сферической формы с высокой магнитной проницаемостью, что обеспечит равномерное распределение магнитного поля по всей рабочей зоне сепаратора.

2. На основании разработанной математической модели в виде системы дифференциальных уравнений (2.47), в основе использующей взаимодействие магнитного поля с ФМЧ, определяются динамические характеристики – скорость u , расстояние R и время t извлечения ФМЧ из дробленого зерна и муки.

3. Зависимость (2.48), связывающая параметры магнитного поля, ФМЧ и среды позволяет определить основные конструктивные параметры компоновки концентраторов $d_{\text{ц}}$ в зависимости от: известных технологических параметров потока очищаемого материала (динамической вязкости η_s , скорости u) и задаваемых электротехнических параметров (числа витков источника поля W , тока в обмотке I , длины обмотки l_0) с учетом извлекаемых ФМЧ (размер dT , магнитная восприимчивость χ_T). Зависимость (2.54) позволяет определять требуемую эффективность извлечения ФМЧ на основании выше указанных параметров, учитывая количество используемых концентраторов n .

4. Для получения эффективности извлечения ФМЧ (рис.2.17) основного диапазона 100мкм из муки в 95-99%, согласно зависимости (2.54), требуется электромагнитный сепаратор со следующими параметрами:

- число витков сепаратора $W_{354} - 360$;
- длина обмотки сепаратора $l_{050\text{мм}}$;
- размер концентратора $d_{\text{ц}}$;
- расстояние между концентраторами по горизонтали и вертикали соответственно 8мм и 16мм;
- ток в обмотке сепаратора $I = 23-25 \text{ А}$.

Раздел 3

РАЗРАБОТКА И ИССЛЕДОВАНИЯ ЭЛЕКТРОМАГНИТНЫХ СЕПАРАТОРОВ ДЛЯ ОЧИСТКИ ДРОБЛЕННОГО ЗЕРНА И МУКИ ОТ ФМЧ

В основу разработки и модернизации электромагнитных устройств для очистки дисперсных сред (в частности муки и других) от ФМЧ заложены обоснованные элементы теории и закономерности взаимодействия магнитного поля с частицей (разделы 1, 2), а также следующие принципы:

- использование аналогов и прототипов с оптимальными параметрами (простота изготовления и эксплуатации, надежность и высокая эффективность работы);
- применение энергии в виде магнитного поля в рабочих зонах разрабатываемых устройств осуществлялась таким образом, что силовое воздействие на ФМЧ максимально способствовало повышению эффективности их извлечения;
- источники питания, а также ряд конструктивных элементов компоновались из выпускаемых серийно агрегатов и узлов, что не потребует их дополнительного исследования.

Перечисленные принципы незначительно увеличивают материальные затраты на изготовление и эксплуатацию разрабатываемых конструкций при значительном повышении эффективности их работы.

Электромагнитные устройства для очистки дисперсных сельскохозяйственных материалов от ФМЧ

Требования, предъявляемые к качеству зерна и продукту его глубокой переработки – муке, строго регламентированы и диктуются установленными нормами и ГОСТами, на основании исследований негативного влияния примесей на жизнедеятельность биологических организмов. Поэтому повышение степени очистки зерна, а также круп и муки играет большую роль на конечное содержание ФМЧ в готовой продукции.

Конструкции существующих и разработка новых устройств должна ве-

стись в направлении не только повышения общей эффективности извлечения, но и с возможностью минимальных затрат энергии и материалов на их изготовление. Следующим требованием является „внесение” магнитного поля в рабочий объем устройства таким образом, чтобы каждая частичка ферромагнетика оказалась под воздействием магнитных сил.

Исходя из приведенных положений был разработан ряд конструкций электромагнитных устройств для очистки зерна и муки от ферромагнитных примесей. Ниже приведены схемы этих устройств и принцип их работы.

3.1. Электромагнитные устройства для очистки муки

3.1.1. Электромагнитный циклон

Наиболее близким техническим решением, выбранным в качестве прототипа, является электромагнитный циклон, содержащий цилиндроконический корпус с крышкой, входным тангенциальным патрубком и выходной трубой, снаружи которой размещена электромагнитная катушка, а внутри – система доочистки (А.С. СССР №1018717, МПК³ В04С 5/12, В03С 1/00, 1983г.).

Однако это устройство некачественно очищает высокодисперсные материалы, так как область магнитного поля, охватываемая магнитными полосами системы доочистки не распространяется на всю рабочую зону.

В основу новой конструкции положена задача создания электромагнитного циклона, в котором в качестве системы доочистки служит блок сферических ферромагнитных тел, установленных в шахматном порядке и закрепленных между собой немагнитными стержнями, что позволит повысить степень извлечения ферромагнитных примесей и соответственно, улучшить качество переработки высокодисперсных материалов.

Предложенный электромагнитный циклон содержит цилиндроконический корпус с крышкой, бункер, входной патрубок и выходную трубу, снаружи кото-

рой размещена электромагнитная система, а внутри блок доочистки, согласно изобретения, блок доочистки выполнен из сферических ферромагнитных тел, установленных в шахматном порядке и скрепленных между собой немагнитными стержнями.

Таким образом, использование электромагнитного циклона данной конструкции позволит повысить степень извлечения ферромагнитных примесей; „шахматное” расположение сферических ферромагнитных тел позволит равномерно распределить магнитное поле по всей рабочей зоне камеры доочистки (рис.3.1).

Электромагнитный циклон состоит из цилиндроконического корпуса с крышкой 1 с вмонтированными входного тангенциального патрубка 2 и входной трубы 3, снаружи которой размещена электромагнитная система 4. Внутри выходной трубы 3 установлена система доочистки 5, состоящая из блока сферических ферромагнитных тел 6 (размещенных в шахматном порядке), закрепленных на немагнитных стержнях 7; отбойника 8. Внизу корпуса 1 расположен бункер 9.

Устройство работает следующим образом. Загрязненный ферромагнитными примесями высокодисперсный материал определенной по технологии концентрации поступает по входному патрубку 2 в магнитное поле катушки 4, где частицы укрупняются, образуя флоккулы. Часть флокул, под действием инерционных сил отбрасываются к корпусу циклона 1, а остальная часть под действием пондеромоторных сил притягиваются к выходной трубе 3 и под действием вращающегося потока сползают вниз, отскакивая от отбойника 8, попадают в бункер 9. Очищенный материал поступает в выходную трубу 3, где происходит тонкая доочистка системой 5. Магнитный поток проходит через ферромагнитные тела 6, пропорционально разделяясь, „заполняет” всю рабочую зону в системе доочистки 5. Наибольшая напряженность поля создается с тех сторон сферических тел, которые ближе всего находятся друг к другу в направлении движения основного магнитного поля катушки 4. Регенерация системы доочистки 5 осуществляется отключением катушки 4 на 1 минуту.

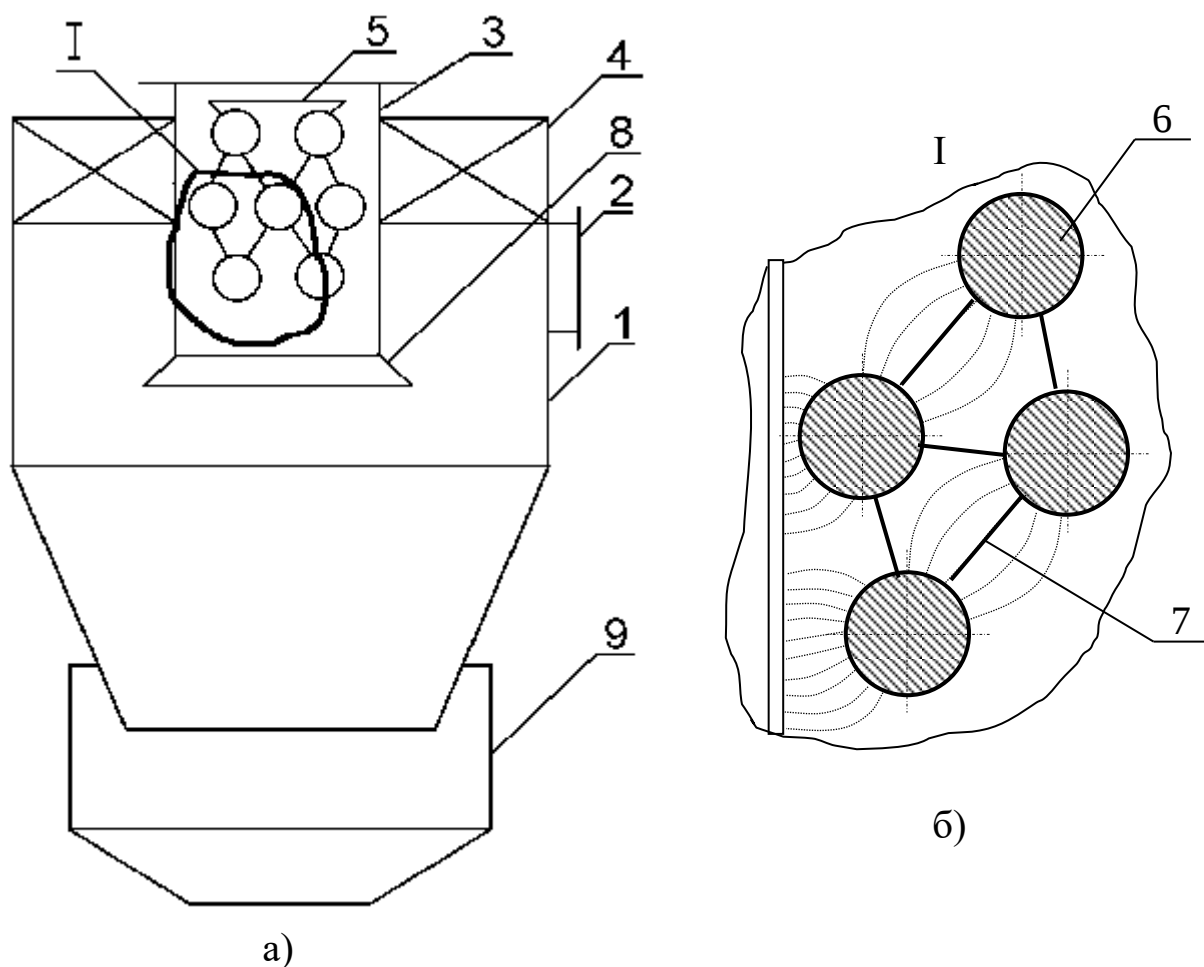


Рис.3.1. Конструктивная схема циклона в общем виде:

а - циклон в общем виде;

б - узел 1.

3.1.2. Электромагнитный фильтр

Наиболее близким техническим решением, выбранным в качестве прототипа, является циклон, содержащий входной и выходной патрубки, цилиндрический корпус снаружи которого размещена электромагнитная система, а внутри ферромагнитные кольца, закрепленные на внутренней и наружной поверхностях концентрических немагнитных труб (А.С. СССР №539612, МПК² В04С 5/12, 1976г.).

Однако это устройство некачественно очищает высокодисперсные материалы от ферромагнетиков из-за малых объемов „зон улавливания” (маленькие фас-

ки на магнитных кольцах не обеспечивают требуемой турбулентности потока очищаемого материала).

В основу конструкции поставлена задача создания электромагнитного фильтра, в котором в качестве концентраторов поля служат ферромагнитные кольца, в сечении имеющие вид равнобедренного треугольника в вершине с тупым углом, закрепленные основанием на поверхности труб, что дает возможность увеличить турбулентность высокодисперсных материалов и повысить степень очистки.

Поставленная задача решается тем, что электромагнитный фильтр содержит цилиндрический корпус с входным и выходным патрубками, снаружи которого размещена электромагнитная система, а внутри ферромагнитные кольца, закрепленные на внутренней и наружной поверхностях концентрических немагнитных труб, при чем ферромагнитные кольца в поперечном сечении выполнены в виде равнобедренного треугольника в вершине с тупым углом, закрепленные основанием на поверхности труб. Кольца на трубах смещены относительно друг друга в „шахматном” порядке с шагом по вертикали и горизонтали в отношении 1:2.

Таким образом, использование электромагнитного фильтра данной конструкции позволит повысить степень очистки высокодисперсных сельскохозяйственных материалов от ферромагнитных примесей. Кольца предложенной конструкции, а также их „шахматное” расположение позволит увеличить турбулентность очищаемого материала и соответственно каждая ферромагнитная частица окажется в „зоне улавливания” фильтра (рис.3.2).

Электромагнитный фильтр состоит из немагнитного цилиндрического корпуса 1, с закрепленными входным 2 и выходным 3 патрубками. Снаружи корпуса 1 размещена электромагнитная система, состоящая из соленоида 4 и магнитопровода 5, а внутри корпуса 1, на немагнитных трубах 6 закреплены на внутренней и наружной поверхностях ферромагнитные кольца 7, в поперечном сечении выполненные в виде равнобедренного треугольника в вершине с тупым углом.

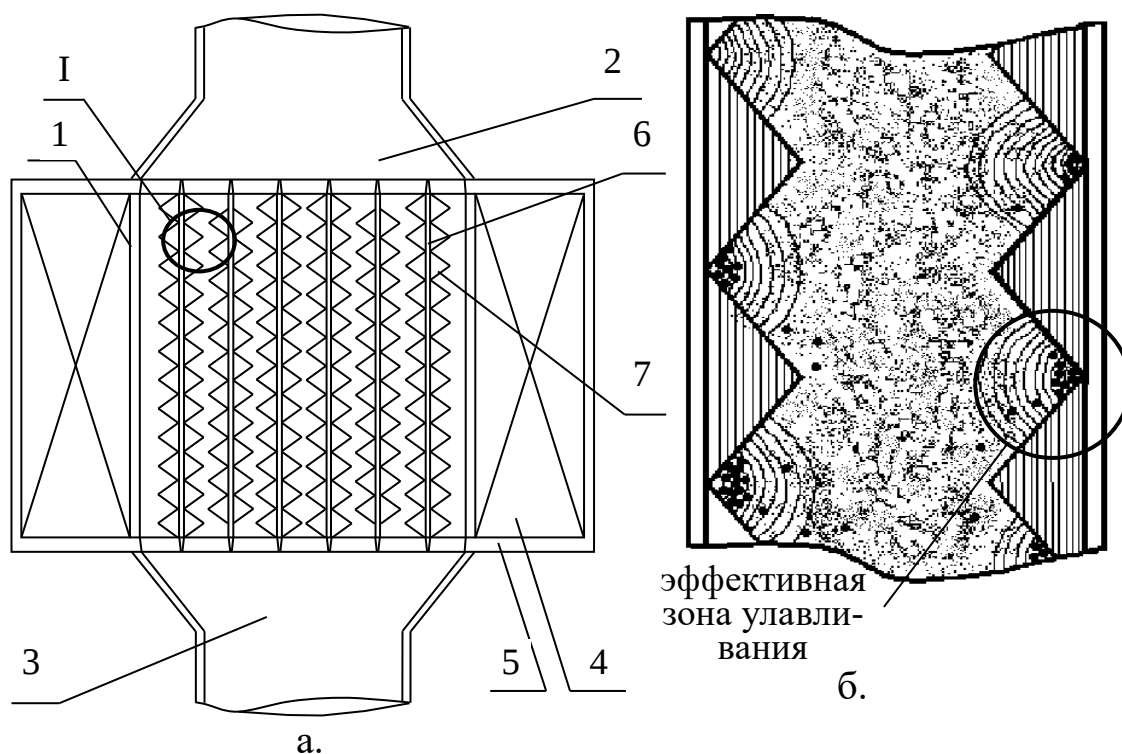


Рис.3.2. Электромагнитный фильтр в общем виде:

- 1 – корпус;
- 2, 3 – входной и выходной патрубки;
- 4 – соленоид;
- 5 – магнитопровод;
- 6 – немагнитные трубы;
- 7 – ферромагнитные кольца.

Устройство работает следующим образом. Загрязненный ферромагнитными примесями высокодисперсный материал поступает через входной патрубок 2 в рабочую область фильтра. Так как плотность ферромагнитных частиц выше плотности материала, то под действием инерционных сил турбулентного потока каждая частица ферромагнетика окажется в „зоне улавливания” фильтра. Под действием магнитного поля, замыкающегося по магнитопроводу 5 и ферромагнитным кольцам 7 образуются „зоны улавливания”, в которых частицы задерживаются между кольцами 7, а очищенный материал, через выходной патрубок 3 поступает на другие технологические операции. Расположение колец в „шахматном” порядке с шагом по вертикали и горизонтали в отношении 1:2 позволит добиться

высокой турбулентности очищаемого материала, а также сконцентрировать магнитное поле только между кольцами 7 в „зонах улавливания” фильтра, что повысит степень очистки. Удаление уловленных частиц осуществляется путем отключения тока в соленоиде 4 при полной остановке технологической линии.

3.1.3. Электромагнитный фильтр – сепаратор

Наиболее близким техническим решением, выбранным в качестве прототипа, является циклон, содержащий входной и выходной патрубки, цилиндрический корпус снаружи которого размещена электромагнитная система, а внутри ферромагнитные насадки, закрепленные на внутренней поверхности концентрических немагнитных труб (А.С. СССР №539612, МПК² В04С 5/12, 1976г.).

Однако это устройство некачественно очищает высокодисперсные материалы от ферромагнетиков из-за малых объемов „зон улавливания” (маленькие фаски на магнитных насадках не обеспечивают требуемого распределения магнитного поля по всему рабочему объему).

В основу изобретения поставлена задача создания электромагнитного фильтр – сепаратора, в котором в качестве концентраторов поля служат насадки, выполненные в виде ферромагнитных спиралей, расположенных снаружи и внутри немагнитных закрепленных между собой цилиндрических трубах. При этом шаг спирали имеет постоянное значение и не зависит от её диаметра, что дает возможность равномерно распределить магнитный поток по всему объему фильтр–сепаратора и повысить степень очистки высокодисперсных материалов. Шаг между трубами обеспечит нормальное прохождение материала, что не влияет на производительность аппарата.

Поставленная задача решается за счет того, что предложенный электромагнитный фильтр–сепаратор содержит цилиндрический корпус с входным и выходным патрубками, снаружи которого размещена электромагнитная система, а внутри ферромагнитные насадки, закрепленные на внутренней и внешней поверхностях концентрических немагнитных труб, при этом насадки выполнены в

виде спиралей из магнитного материала. Шаг спиралей равен не менее 3^x диаметров провода спирали, при этом её длина не превышает высоты электромагнитной системы. Шаг немагнитных труб по горизонтали равен не менее $3 \div 4$ мм.

Таким образом, использование электромагнитного фильтр–сепаратора данной конструкции позволит повысить степень очистки высокодисперсных сельскохозяйственных материалов от ферромагнитных примесей. Насадки в виде спиралей предложенной конструкции, а также их расположение позволит сконцентрировать силы магнитного поля в „зоне улавливания” фильтр–сепаратора, действующих на ферромагнитные частицы, что повысит эффективность их извлечения (рис.3.3).

Электромагнитный фильтр–сепаратор состоит из немагнитного цилиндрического корпуса 1, с закрепленными входным 2 и выходным 3 патрубками. Снаружи корпуса 1 размещена электромагнитная система, состоящая из соленоида 4, а внутри корпуса 1, закреплены на внутренней поверхности цилиндрических немагнитных труб 5 насадки 6, выполненные в виде витых ферромагнитных спиралей.

Устройство работает следующим образом. Загрязненный ферромагнитными примесями высокодисперсный материал поступает через входной патрубок 2 в „рабочий” объём фильтр–сепаратора. При включении соленоида 4 на постоянное напряжение создает магнитное поле, между насадкам 6 в продольном направлении фильтр–сепаратора, под действием пондеромоторных сил которого каждая частица ферромагнетика, оказавшись в „зоне улавливания” фильтр–сепаратора, притянется к поверхностям насадок 6, выполненным в виде ферромагнитных спиралей.

Очищенный высокодисперсный материал, через выходной патрубок 3 поступает на другие технологические операции. Расположение насадок 6 в виде спирали с шагом, равным $3,2$ их диаметра позволит сконцентрировать магнитное поле между элементами спирали в „зонах улавливания” фильтр–сепаратора, что повысит степень очистки. Удаление уловленных ферромагнитных частиц осу-

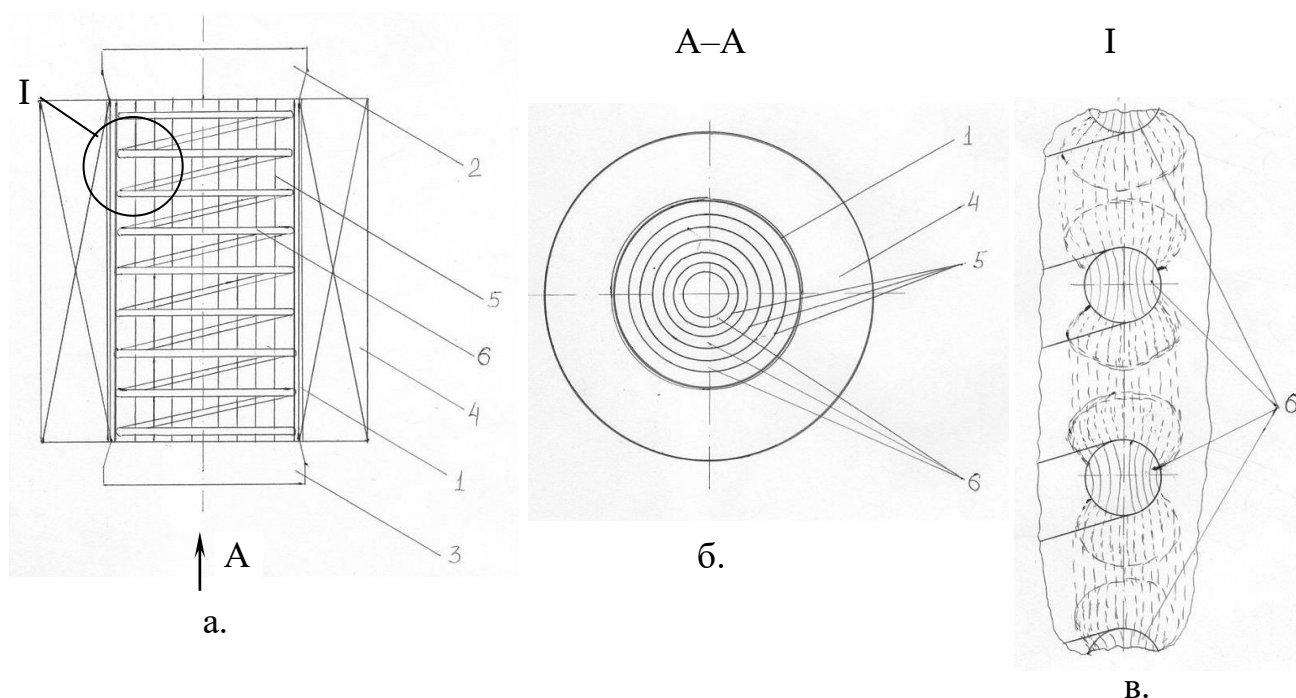


Рис.3.3. а.—Изображение электромагнитного фильтр–сепаратора в общем виде; б.— вид А; в.—узел I.

ществляется путем отключения тока в соленоиде 4 при полной остановке технологической линии.

3.2. Экспериментальное обоснование динамики поведения ФМЧ в области концентраторов магнитного поля

Математическая модель процесса извлечения ФМЧ в магнитном поле и их осаждение на центрах концентраторов (раздел 2), метод определения эффективности извлечения качественно (раскрытие механизма) и количественно (определение числовых значений параметров) проверялись на специально разработанных установках.

Изучалось поведение ФМЧ в магнитном поле концентраторов: скорость и время извлечения (осаждения) при разных параметрах силы тока в обмотке сепаратора, а так же использование разных форм концентраторов и другие параметры, необходимые для математического моделирования процессов и расчет электромагнитных устройств.

Извлечение ФМЧ в магнитном поле осуществлялось известными различными способами: фотосъемкой, визуально, путем измерения массы навесок.

Основными материалами, используемыми при эксперименте, служили: железный порошок и шары различной крупности ($d_T \approx$ от 100 мкм до 1 мм), воздух при нормальных условиях, а так же мука с параметрами, предусмотренными в технологии её получения. Использование перечисленных материалов для эксперимента обосновано тем, что они наиболее доступны, а параметры стабильны при нормальных условиях ($t=20^\circ \text{C}$, при атмосферном давлении). Основными требованиями к эксперименту были: минимальные материальные затраты и максимальная достоверность полученных результатов.

Обработка экспериментальных данных осуществлялась на ЭВМ известным методом наименьших квадратов (коэффициент корреляции был в пределах $0,5 < J < 0,99$).

3.2.1. Исследование извлечения ферромагнитных частиц с помощью определения разности масс

На рис. 3.4 приведена схема установки, при помощи которой проводился эксперимент по извлечению ферромагнитных частиц железного порошка (размером $100 \div 200$ мкм, массой навески 2,05 г) в магнитном поле. Установка включает в себя электромагнитную обмотку (с параметрами: число витков 354; провод прямоугольного профиля $3,5 \times 2,4$ мм; сечение провода $13,2 \text{ мм}^2$; материал провода – медь), блок выпрямительных диодов, амперметр, вольтметр, понижающий трансформатор 220/12, регулировочный трансформатор ЛАТР, компрессор-пневмотранспортер (табл. 3.1).

Таблица 3.1

Оборудование эксперимента

Оборудование	Тип	Количество	Примечание
1. Регулировочный трансформатор	ЛАТР –127/220	1	0...220В, $I_{\max} = 1,5 \text{ А}$.
2. Понижающий трансформатор	ОСОТ 220/12	1	U=12В.
3. Вольтметр	Э30	1	ГОСТ 8711-60
4. Амперметр	Э421	1	ГОСТ 8711-60
5. Диоды	ЭД245Б – III74	4	
6. Электромагнит	Изготовлен самостоятельно-	1	W= 354

	НО		
7. Компрессор-пневмотранспортер.	-	1	$v_{\text{потока}} = 14 \text{ м/с}$

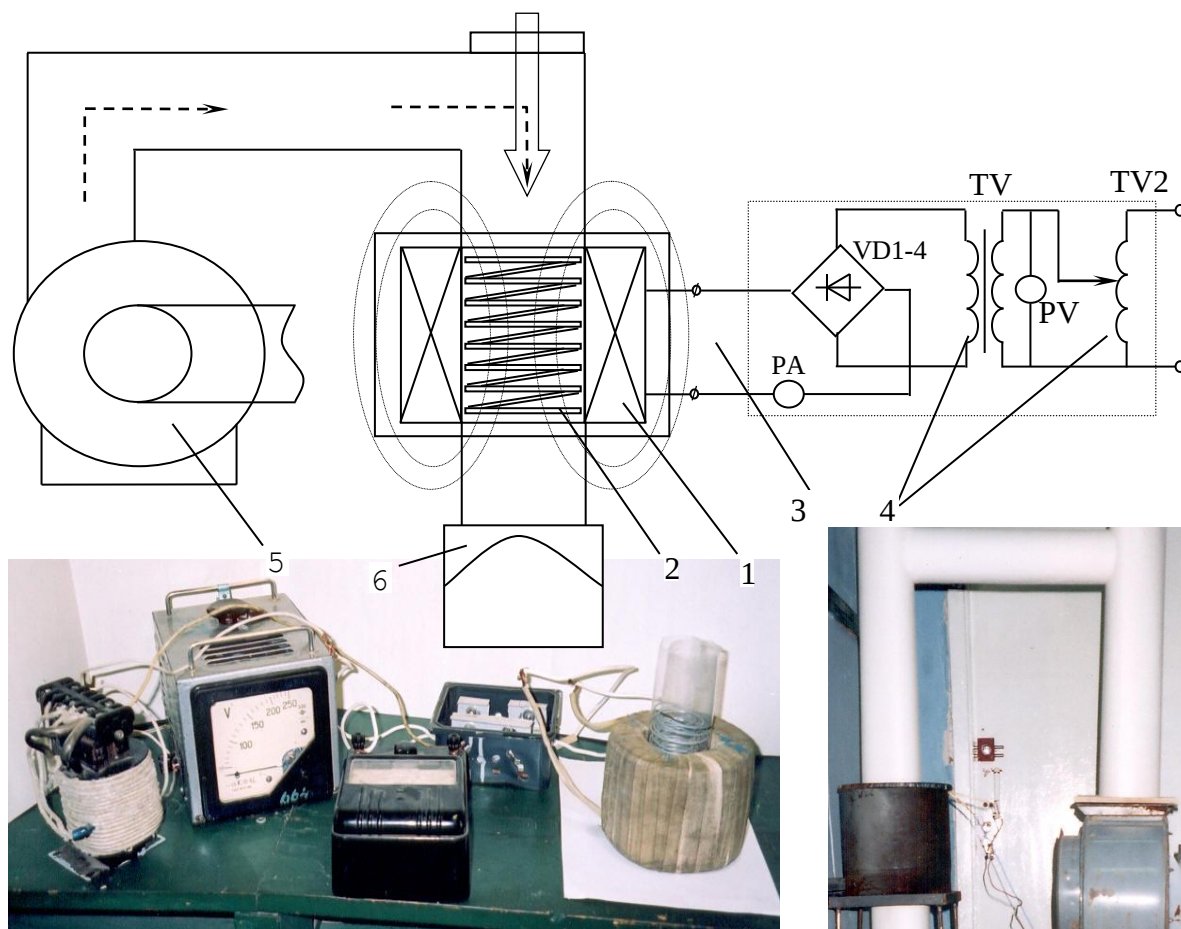


Рис.3.4. Схема экспериментальной установки:

1—электромагнитная катушка; 2—наполнитель; 3—выпрямительный мост;
4—блок понижения напряжения; 5—компрессор-пневмотранспортер; 6—
бункер очищенной муки.

Первоначально эксперимент проводился без наполнителей, фиксировались напряжение на первичной обмотке трансформатора, напряженность магнитного поля катушки (ток в катушке). Просыпался магнитный порошок через цилиндр внутри катушки. Путем взвешивания определялась массовая доля проскочивших

частиц. Фиксируя разницу масс, была получена эффективность извлечения, которая определялась по формуле:

$$\mathcal{E}_i = \frac{m_{\text{общ}} - m_{\text{пр}}}{m_{\text{общ}}} \times 100\%, \quad (3.1)$$

где $\mathcal{E}_i$ – эффективность извлечения, %;

$m_{\text{общ}}$ – масса навески, г;

$m_{\text{пр}}$ – масса проскочивших частиц, г.

Экспериментальные данные представлены в табл. 3.2 (масса исследуемой навески равна 0,003 кг).

Таблица 3.2

Исследование электромагнитного сепаратора без наполнителя

Напряжение первич. обмот- ки, U1, В	Ток вторичной обмотки, I2, А	Масса уловлен- ных частиц, m _{улов.} , ×10 ⁻³ кг	Масса проско- чивших частиц, m _{проскоч...} , ×10 ⁻³ кг	Эффективность извлечения, Э _i %
20	5	0,02	2,98	0,7
38	7	0,03	2,97	1
53	10	0,05	2,95	1,7
75	14	0,07	2,93	2,3
90	18	0,11	2,89	4
110	22	0,25	2,75	8,3
128	26	0,4	2,6	13
139	28	0,7	2,3	23

Далее в качестве наполнителей использовались ферромагнитные тела разной формы (в качестве примера предложены гайки М14, расположенные в цилиндре, зафиксированы между собой на немагнитных соединениях; цилиндр размещался внутри катушки, как показано на рис. 3.5), расположенные в шахматном порядке, что позволяет каждой частице ферромагнетика, находящегося в потоке очищаемого материала коснуться поверхности наполнителя. Экспериментальные данные представлены в таблице 3.3. (масса исследуемой навески равна 0,00285 кг).



Рис.3.5. Использование концентраторов разной формы.

Таблица 3.3

Исследование электромагнитного сепаратора с наполнителем произвольной формы

Напряжение первич. обмот- ки, U_1 , В	Ток вторичной обмотки, I_2 , А	Масса уловлен- ных частиц, $m_{\text{улов.}}, \times 10^{-3}$ кг	Масса проско- чивших частиц, $m_{\text{проскоч...}}, \times 10^{-3}$ кг	Эффективность извлечения, $\mathcal{E}_i$ %
20	5	1,4	1,6	49,12
38	7	1,55	1,3	54,39
53	10	1,95	0,9	68,42
75	15	2,45	0,4	85,96
90	18	2,55	0,3	89,47
110	21	2,65	0,2	92,98
128	26	2,75	0,1	94,49
139	28	2,79	0,06	95,94

Также в качестве наполнителей использовался „пакет” литых ферромагнитных спиралей с диаметром 1 мм. При этом шаг спирали S по горизонтали оставался неизменным, а по вертикали менялся в отношении: 1) $S = d$ провода; 2) $S = 2d$ провода; 3) $S = 3,2d$ провода (рис.3.6). При этом длина „пакета” спирали

менялась от 32 до 100 мм, а так же менялась “производительность” линии (0,83 кг/с и 2,22 кг/с). Обработка данных экспериментальных результатов представлена в таблицах 3.4, 3.5, и 3.6.

На рис. 3.7 и 3.8 показаны зависимости эффективности извлечения от силы токов в обмотке при разных наполнителях и без них в муке (масса исследуемой навески равна 0,00205кг).

Таблица 3.4

Исследование электромагнитного сепаратора с пружинами (среда – мука 2,22кг/с)

Ток вторичной обмотки, I_2 , А	Масса уловленных частиц, $m_{\text{улов.}}, \times 10^{-3}$ кг	Масса проскочивших частиц, $m_{\text{проскоч.}}, \times 10^{-3}$ кг	Эффективность извлечения, $\mathcal{E}_i$ %
5	1,3	0,75	63,41463
7	1,5	0,55	73,17073
10	1,75	0,3	85,36585
15	1,9	0,15	92,68293
18	1,98	0,07	96,58537
21	2,05	0	100
26	2,05	0	100
28	2,05	0	100

Таблица 3.5

Исследование электромагнитного сепаратора с пружинами (среда – мука 0,83кг/с)

Ток вторичной обмотки, I_2 , А	Масса уловленных частиц, $m_{\text{улов.}}, \times 10^{-3}$ кг	Масса проскочивших частиц, $m_{\text{проскоч.}}, \times 10^{-3}$ кг	Эффективность извлечения, $\mathcal{E}_i$ %
5	1,45	0,6	70,73171
7	1,6	0,45	78,04878
10	1,8	0,25	87,80488
15	1,95	0,1	95,12195
18	2	0,05	97,56098
21	2,05	0	100
26	2,05	0	100
28	2,05	0	100

Таблица 3.6

Исследование электромагнитного сепаратора с пружинами (среда - воздух)

Ток вторичной обмотки, I_2 , А	Масса уловленных частиц, $m_{\text{улов.}}, \times 10^{-3}$ кг	Масса проскочивших частиц, $m_{\text{проскоч.}}, \times 10^{-3}$ кг	Эффективность извлечения, $\mathcal{E}_i$ %
5	1,55	0,5	75,60976
7	1,75	0,3	85,36585
10	1,95	0,1	95,12195
15	2,05	0	100
18	2,05	0	100
21	2,05	0	100
26	2,05	0	100
28	2,05	0	100

Как видно из рис.3.7, 3.8 использование „наполнителей” в электромагнитных сепараторах гораздо эффективнее, что дает подтверждение теоретическим исследованиям (см. разд.2).

При увеличении шага спиралей качество извлечения увеличивается благодаря усилению „распухания” силовых линий магнитного поля вокруг спиралей, что позволяет сконцентрировать поле внутри рабочей зоны извлечения электромагнитного сепаратора, благодаря чему каждая частица

магнитной примеси коснется магнитной улавливающей поверхности спиралевых

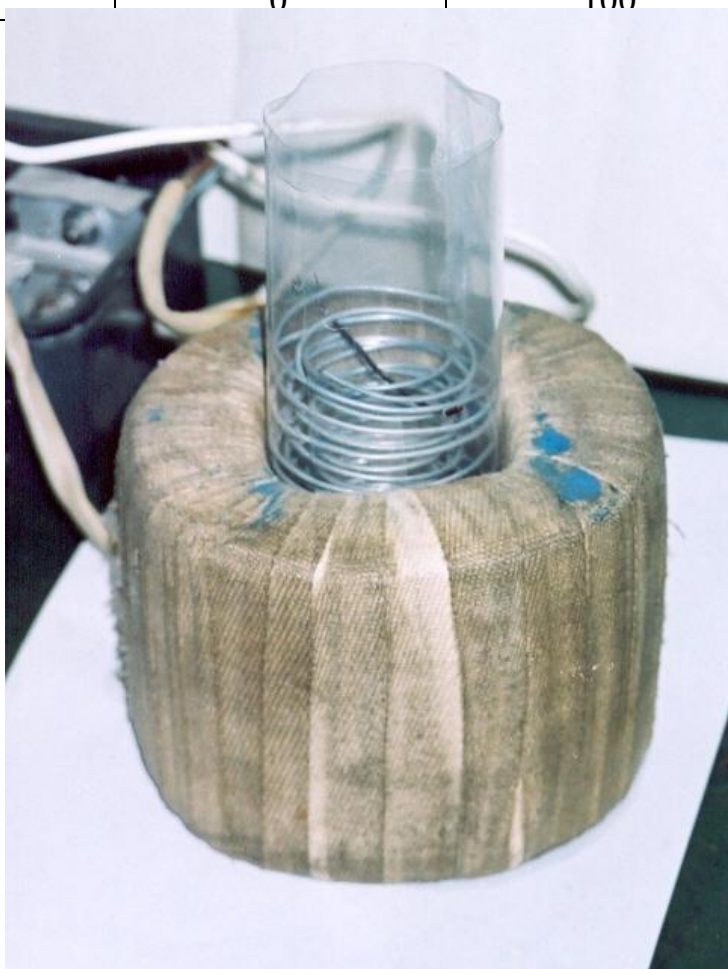


Рис.3.6. Использование концентраторов

концентраторов. Таким образом высокая эффективность извлечения достигается при значении силы тока $15 \div 20$ А в катушке, при напряжении 24В. При этом сопротивление среды не оказывает большого воздействия на процесс извлечения, так как при соизмеримых размерах ферромагнитной частички и „мучинки” массы их отличаются из-за разности плотностей. Но это справедливо только при перемещении муки во „взвешенном состоянии”, т.е. пневмотранспортом.

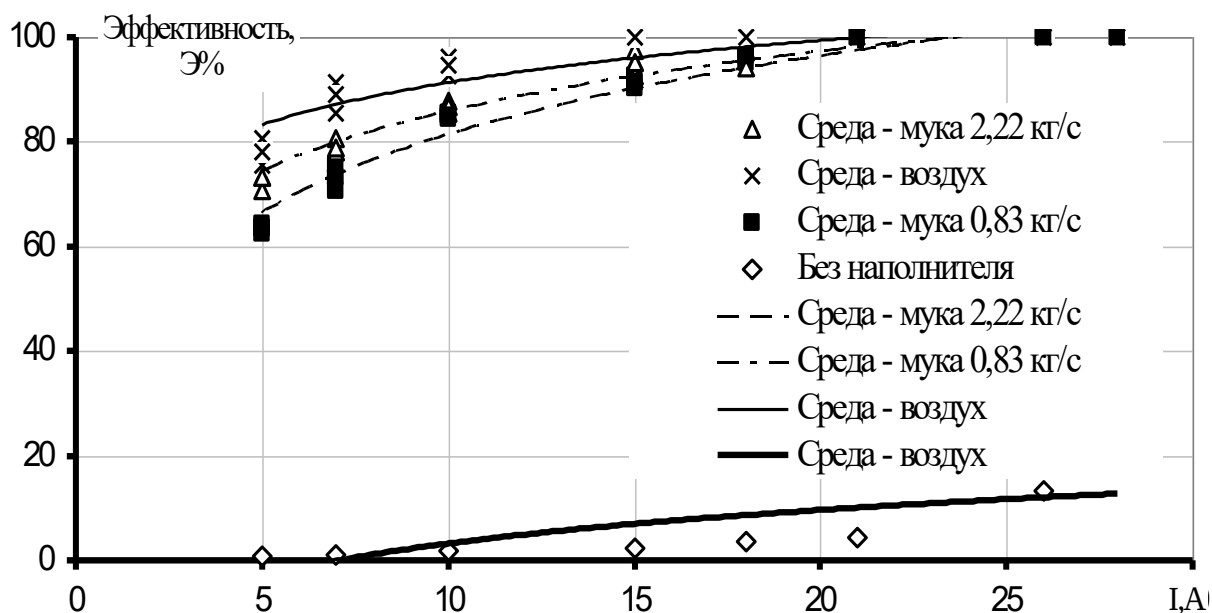


Рис.3.7. Зависимости эффективности извлечения от силы тока в обмотке при разных содержаниях муки в потоке пневмотранспортера.

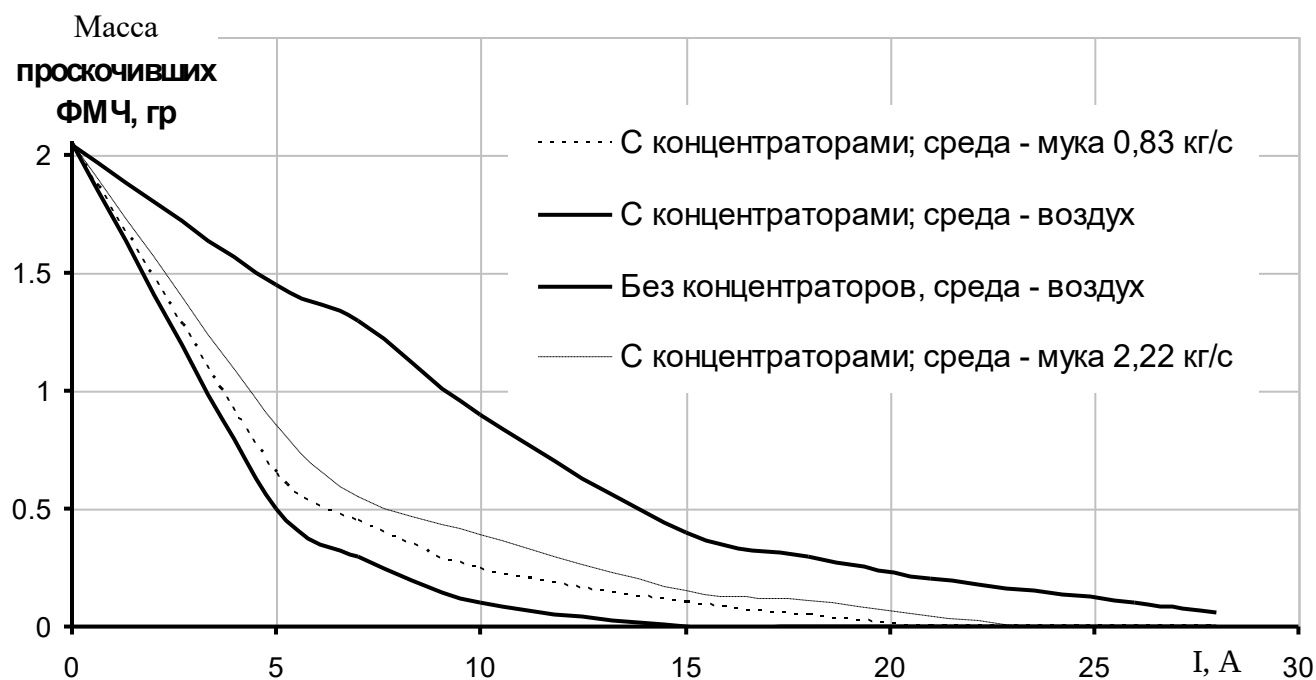


Рис. 3.8. Исследование степени извлечения ФМЧ сепаратором с наполнителем и без него.

Статистическая обработка полученных результатов исследований [18].

1) Область варьирования факторов:

$$0 \leq X_1 \leq 30; 0 \leq X_2 \leq 2,22.$$

Определим интервал варьирования:

$$\Delta_{X_1} = 15; \Delta_{X_2} = 1,11.$$

Определим нулевой уровень факторов:

$$x_{01} = 15; x_{02} = 1,11.$$

Перейдем к нормируемым факторам:

$$z_{i\bar{6}} = +1, z_{i\bar{n}} = -1, (i = \overline{1,3}).$$

Построим матрицу планирования (таблица 3.7):

Таблица 3.7

Матрица планирования

№	Факторы			Отклики				$\bar{S}_i^2$	$\hat{y}_i$
	z_0	z_1	z_2	y_{i1}	y_{i2}	y_{i3}	$\bar{y}_i$		
1	+1	+1	+1	75	70	63	70,75	39,34	71
2	+1	-1	+1	0	0	0	0	0	0
3	+1	+1	-1	95	87	85	90	29,5	90
4	+1	-1	-1	0	0	0	0	0	0

y_{ij} – эффективность извлечения ФМЧ из потока муки, которая получена в результате проведения i -го исследования при j -й повторности.

Определим среднее значение откликов

$$y_1 = 70,75; y_2 = 79 \text{ и т.д.}$$

(Результаты расчетов приведены в таблице 3.7)

2) Определим построчную дисперсию и расчетное значение критерия Кохрена.

$$S_1^2 = \frac{(75 - 70,75)^2 + (70 - 70,75)^2 + (63 - 70,75)^2}{3 - 1} = 39,34 \text{ и т.д.}$$

(Результаты расчетов приведены в таблице 3.7)

Вычислим расчетное значение критерия Кохрена:

$$G_p = \frac{39,34}{39,34 + 36,5 + 29,5 + 16,5 + 6,375 + 0,375 + 0 + 0} = 0,3059.$$

По таблице критических точек распределения Кохрена [48] при заданном уровне значимости $\alpha = 0,05$ и числах степеней свободы $k_1 = m - 1 = 3 - 1 = 2$; $k_2 = N = 8$ находим $G_{кр}(0,05; 2; 8) = 0,5157$.

$G_p < G_{кр}$, следовательно повторяемость исследований хорошая.

3) Найдем коэффициенты в уравнении модели:

$$B_0 = \frac{1}{8}(70,75 \cdot (+1) + 79 \cdot (+1) + 90 \cdot (+1) + 96 \cdot (+1) + 97,5 \cdot (+1) + 99,5 \cdot (+1) + 100 \cdot (+1) + 100 \cdot (+1)) = 91,95;$$

$$B_1 = 1,87;$$

$$B_2 = 4,625; B_3 = 10,125; B_{12} = 0; B_{23} = -0,25; B_{13} = 0; B_{123} = 0,25.$$

4) Найдем дисперсию повторяемости и дисперсию коэффициента модели:

$$S_{в\text{ид}m}^2 = \frac{39,34 + 36,5 + 29,5 + 16,5 + 6,375 + 0,375 + 0 + 0}{8} = 16,074;$$

$$S_{B_i} = \sqrt{\frac{16,074}{8}} = 1,42.$$

Значимость коэффициентов B_i проверяется по критерию Стьюдента. Для каждого коэффициента B_i определяем расчетное значение $T_p B_i$:

$$T_{pB_0} = \frac{|91,95|}{1,42} = 64,75; \quad T_{pB_1} = \frac{|1,87|}{1,42} = 1,31;$$

$$T_{pB_2} = 3,25; \quad T_{pB_3} = 7,13; \quad T_{pB_{12}} = 0;$$

$$T_{pB_{13}} = 0; \quad T_{pB_{23}} = 0,18; \quad T_{pB_{123}} = 0,18.$$

По таблице критических точек распределения Стьюдента [48] при заданном уровне значимости $\alpha = 0,05$ и числе степеней свободы $k = N(m-1)$, находим $T_{кр}(0,05; 16) = 2,12$

$T_{pB_0}, T_{pB_1}, T_{pB_2}, T_{pB_3} > T_{кр}$, следовательно коэффициенты B_0, B_2, B_3 – значимы.

$T_{pB_{12}}, T_{pB_{13}}, T_{pB_{23}}, T_{pB_{123}} < T_{кр}$, следовательно коэффициенты $B_1, B_{12}, B_{13}, B_{23}, B_{123}$ – не значимы.

5) Выпишем уравнение математической модели.

Уравнение модели строим с учетом только значимых коэффициентов:

$$y = 91,95 + 4,625z_1 - 10,125z_2.$$

6) Теоретические значения $\hat{y}_i$ определяются, исходя из построенного уравнения модели:

$$\hat{y}_1 = 106,7; \hat{y}_2 = 97,45; \hat{y}_3 = 86,45; \hat{y}_4 = 77,2; \hat{y}_5 = 37; \hat{y}_6 = 26,5; \hat{y}_7 = 17; \hat{y}_8 = 6,5.$$

Определим дисперсию адекватности:

$$S_{ад}^2 = \frac{3}{8-4} ((71-70,75)^2 + (78,5-79)^2 + (90-90)^2 + (95,5-96)^2 + (97-97,5)^2 + (99-99,5)^2 + (105,5-100)^2 + (105,5-100)^2) = 1,1718.$$

Вычисляем расчетное значение критерия Фишера:

$$F_p = \frac{1,1718}{16,074} = 0,0729.$$

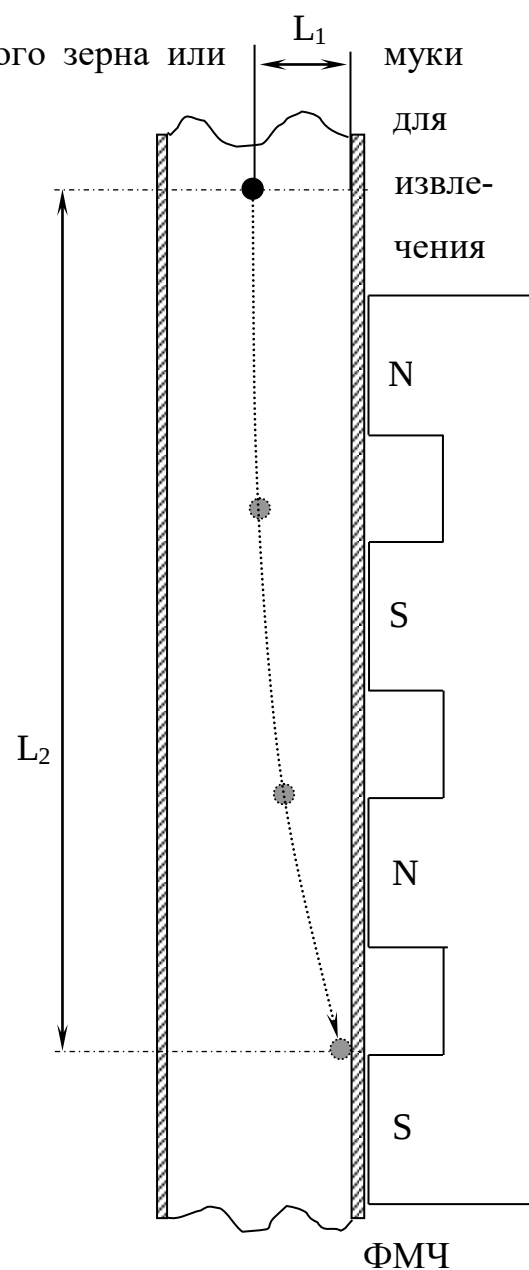
По таблице критических точек распределения Фишера [48] при заданном уровне значимости $\alpha = 0,05$ и числе степеней свободы $k_1 = N-l, k_2 = N(m-1)$ находим

$$F_{кр}(0,05; 4; 16) = 3,01$$

$F_p < F_{кр}$, следовательно, полученная модель адекватна экспериментальным данным.

3.3. Извлечение ФМЧ в сепараторах с открытой многополюсной системой

В виду того, что в производстве дробленого зерна или



используются сепараторы, снабженные открытыми многополюсными магнитными системами (рис.3.9), то было целесообразно

Рис. 3.9. Экспериментальная установка открытой многополюсной системы:

L_1 – траектория полета ФМЧ по горизонтали.

L_2 – траектория полета ФМЧ по вертикали.

провести экспериментальные исследования данных конструкций.

В качестве ФМЧ применялись тела сферической формы разных размеров ($d_{\text{ср}} = 0,5\text{мм} - 2,5\text{мм}$). Исходные данные в эксперименте представлены в табл. 3.8.

Таблица 3.8.

Данные о ферромагнетиках (материал – сталь).

Диаметр ф.м. шара, $d, \times 10^{-3}\text{м}$	Масса шара, $m_{\text{ш}}$ кг	Объем шара V , м^3
0,5	$5,1 \cdot 10^{-7}$	$6,5 \cdot 10^{-11}$
1,0	$4,082 \cdot 10^{-6}$	$5,3 \cdot 10^{-10}$
1,5	$1,38 \cdot 10^{-6}$	$1,7 \cdot 10^{-9}$
2,0	$3,3 \cdot 10^{-5}$	$4,1 \cdot 10^{-9}$
2,5	$6,38 \cdot 10^{-5}$	$8,1 \cdot 10^{-9}$

В ходе эксперимента получено следующее:

- „рабочая зона” L_2 электромагнита с открытой многополюсной системой не превышает 50 мм при токе в обмотке электромагнита составляющем $I = 20\text{А}$;
- с уменьшением размера ФМЧ, L_2 снижалось, что объясняется уменьшением изменения поля входящим в него ферромагнетиком;
- чем больше размер „рабочей зоны” L_2 , тем длиннее требуется магнитная осаждающая поверхность L_1 .

При этом необходимо сделать следующий вывод (рис.3.9): для извлечения ФМЧ 0,5мм и ниже (до 50мкм) длина осаждающей поверхности L_1 должна составлять не менее 210мм (в то время, как размет у существующих сепараторов составляет от 130 до 200мм).

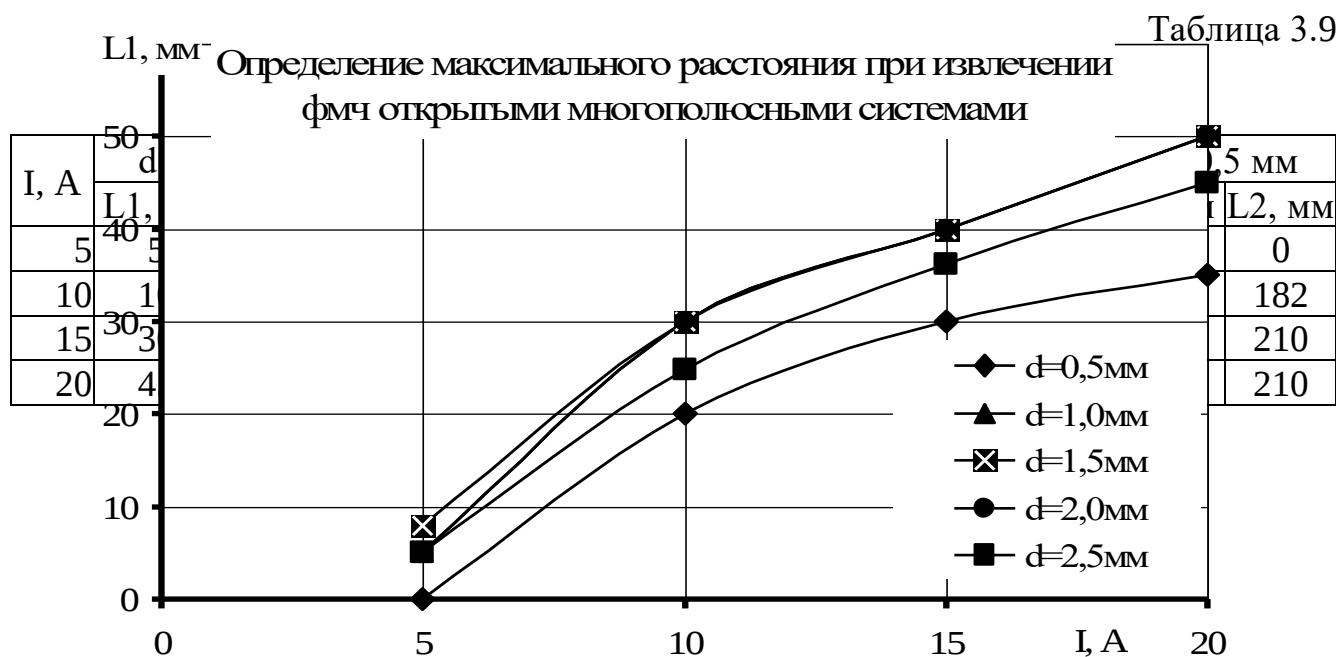


Рис.3.10. Экспериментальные зависимости влияния размеров ФМЧ при их извлечении открытыми многополюсными системами.

Максимальное расстояние L_1 для шаров в 0,5 мм составляет 35÷40 мм; в виду того, что минимальный диаметр труб пневмотранспорта составляет 110 мм, следовательно, частицы, находящиеся в потоке с противоположной стороны от сепаратора проскочат в готовую продукцию.

Таким образом, это доказывает теоретическое обоснование (раздел 2) нецелесообразности применения сепараторов с открытой многополюсной системой для извлечения ФМЧ.

3.4. Исследование возможности срыва ферромагнитных частиц с улавливающих поверхностей электромагнитных сепараторов

При извлечении из тонкодисперсных материалов ФМЧ магнитными сепараторами, рабочие поверхности магнитов являются своего рода накопителями уловленных ФМЧ (рис.3.11). Чрезмерное накопление ФМЧ на поверхностях в конечном итоге приводит к нарушению работы сепаратора из-за образования „магнитных шунтов” из ФМЧ, тем самым снижая величину магнитного потока в рабочей зоне, что приведет к снижению эффективности извлечения магнитных примесей. По этому своевременная очистка от ФМЧ рабочих поверхностей является одной из задач при проектировании электромагнитных сепараторов, особенно имеющих в рабочей зоне магнитные концентраторы поля.



Рис.3.11. Образование „магнитных шунтов” в сепараторах типа МАП.

Анализ последних исследований показал, что данная задача далека от полного решения. Исследователями [6, 64] были предложены пути регенерации сепараторов, снабженные открытыми многополюсными системами. Но гораздо сложнее очистить концентраторы, расположенные внутри сепаратора и дать рекомендации о безостановочности их работы.

Для обоснования периодичности очистки улавливающих поверхностей были проделаны экспериментальные исследования (рис.3.12), моделирующие процесс удержания фмч на спирали (в сечении спираль представляет собой окружность).

Ход эксперимента: на виток спирали (d_k – var от 3 до 12мм) были размещены в ряд сферические тела ($d_{фмч} = 1\text{мм}$), аналогичные ФМЧ, удерживающиеся благодаря пондеромоторным силам источника магнитного поля.

В качестве потока пневмотранспортера, „набегающего” на концентратор, использовался компрессор с насадкой, поток воздуха которого менялся в диапазоне от 0 до 30 м/с (максимальная скорость пневмотранспорта 14 м/с – для транспортирования муки [20, 27, 29]) в фронтальном и боковом направлениях.

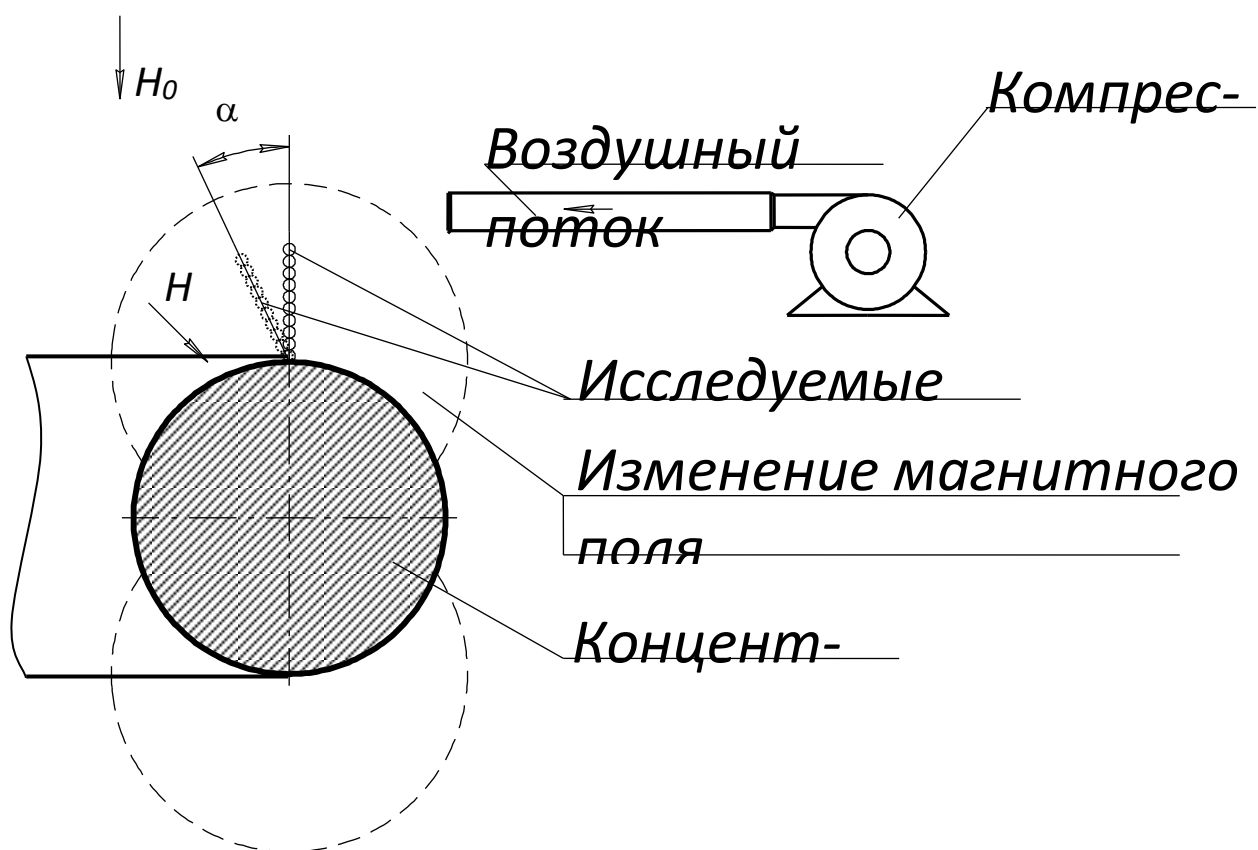


Рис.3.12. Исследования повторного уноса:

α – угол отклонения ФМЧ.

Были получены следующие результаты (рис.3.13):

– с уменьшением напряженности поля внешнего источника (снижением силы тока в обмотке электромагнита), угол отклонения ФМЧ α увеличивался нелинейно при боковом направлении потока воздуха;

- при фронтальном направлении ФМЧ срывались с вертикального положения, оставаясь на концентраторе;
- минимальная напряженность поля в области концентратора, при которой возможно удержание ФМЧ, соответствовала силе тока для рассматриваемого источника поля в 1,5А при потоке 20 м/с;
- чем больше диаметр концентратора, тем обширнее зона неустойчивого удержания при постоянных условиях, что объясняется снижением распределения зоны изменения поля вокруг концентратора.

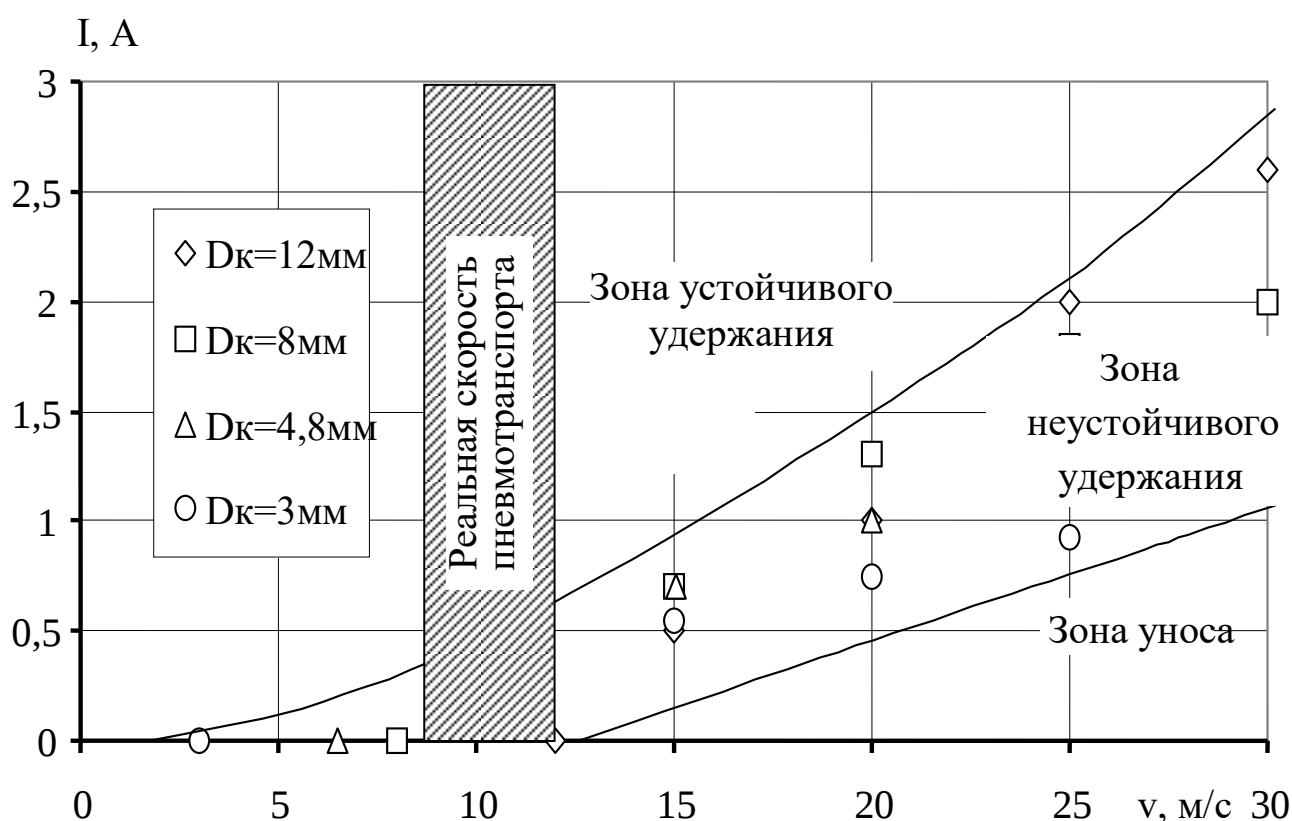


Рис.3.13. Экспериментальные зависимости повторного уноса ФМЧ.

Исходя из этого и согласно расчетов, периодичность регенерации улавливающих поверхностей рекомендуется: при средней производительности линии по дробленому зерну 40 т/смену и содержания ФМЧ 4 мг/кг, частота очистки должна быть не реже 2^x раз в смену; при этом число витков спирали концентратора должно соответствовать 33 с шагом 4мм в количестве 6 шт.

При использовании сепараторов данной конструкции возможны два варианта регенерации:

- установка одного сепаратора с остановкой линии при его очистке (благодаря отключению питания обмотки);
- применение двух параллельно работающих сепаратора с переключением потока с одного на другой (рис.3.14).

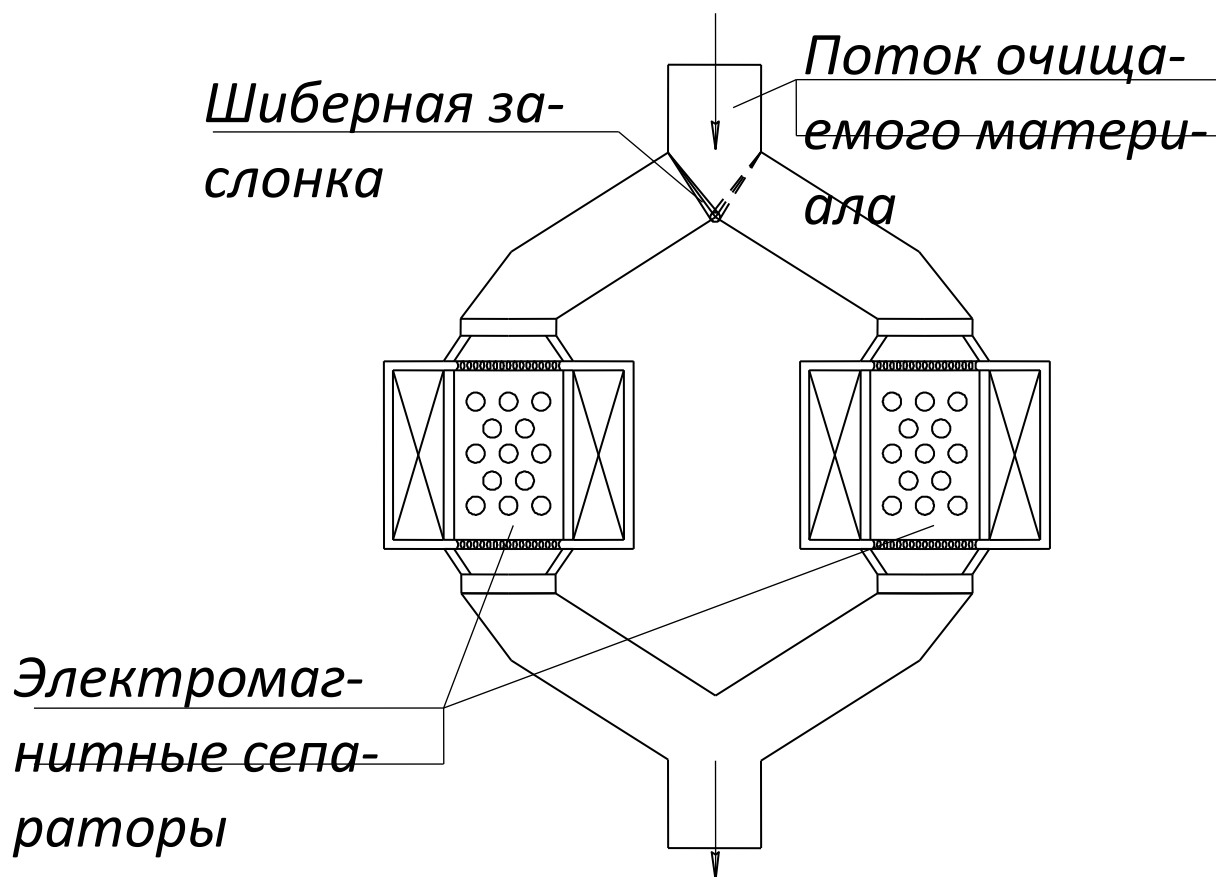


Рис.3.14. Функциональная схема параллельной работы сепараторов.

Блок управления представляет релейный механизм с применением устройства задержки времени, что позволяет без участия оператора перевести шиберную заслонку с одного сепаратора на другой без остановки технологического процесса. При этом с очищаемого сепаратора снимается питание только после того, как он будет извлечен из трубопровода и притянутые ФМЧ осыпятся в предназначенный лоток.

Из представленного видно, что повторный унос ФМЧ напрямую зависит от размеров концентраторов, что необходимо учесть при проектировании данного типа сепараторов. Сила по удержанию ФМЧ на поверхности осаждения достаточно велика и по этому допустимы перепады напряжения в сети (в пределах 40–50%). Использование двух параллельно работающих сепараторов позволит без остановки технологической линии производить их очистку.

3.5. Общая технологическая схема изготовления устройства

Электромагнитный сепаратор со спиралеобразными концентраторами для извлечения ФМЧ из дробленого зерна (круп, муки и т.д.) разработан на основе выше приведенных теоретических и экспериментальных исследований.

Технология сборки: сборка опытного сепаратора проводится в следующей последовательности:

1. Навивка спиралей;
2. Компоновка нижнего и верхнего оснований;
3. Намотка намагничивающей обмотки;
4. Монтаж обмотки, внутреннего немагнитного каркаса и внешнего ферромагнитного корпуса.

Навивка спиралей осуществляется на цилиндрические деревянные каркасы разного диаметра, со спиралевидными пазами на внешней стороне. Расстояние между пазами соответствует заданному шагу витка спирали. Каркас жестко фиксируется и стальная проволока, под натяжение укладывается в пазы.

Нижнее и верхнее основания состоят из площадки с отверстиями в форме сопел Ловаля с количеством n , рассчитанным по формуле:

$$n = \frac{S_{mp}}{S_{отв}}, \quad (3.2)$$

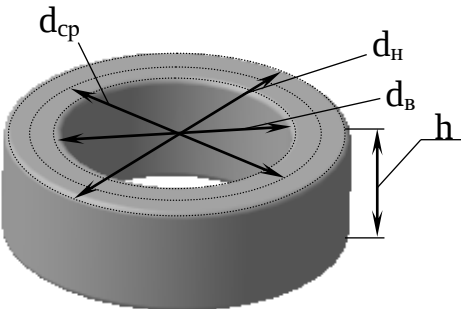
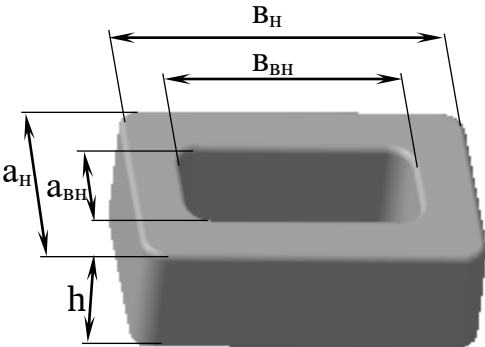
где S_{mp} – сечение трубы пневмотранспортера;

$S_{отв}$ – сечение отверстия.

Обмотка магнитопровода наматывается на оправку, которая имеет в сечении конус (для облегчения снятия). Намотка производится виток к витку без изоляции промежуточных слоев. В табл.3.10 приведен алгоритм электротехнического расчета для круглой и прямоугольной форм обмоток.

Таблица 3.10.

Алгоритм электротехнического расчета обмоток [5, 79].

В и д ы о б м о т о к	
К р у г л а я	П р я м о у г о л ь н а я
Р а с ч е т н а я с х е м а	
	
Исходные данные:	
d_n – наружный диаметр обмотки; d_{vn} – внутренний диаметр обмотки; d_{cp} – средний диаметр обмотки.	a_{vn} – ширина обмотки (внутренняя); a_n – ширина обмотки (наружная); B_{vn} – длина обмотки (внутренняя); B_n – длина обмотки (наружная).
h – высота обмотки.	
Определение диаметра провода	
$d_{np} = \sqrt{\left(\frac{j \cdot \rho \cdot K_3 \cdot h}{U}\right) \cdot (d_n - d_{vn}) \cdot (d_n + d_{vn})}, \quad (3.3)$	$d_{np} = \sqrt{\left(\frac{j \cdot \rho \cdot K_3 \cdot h}{U \cdot \pi}\right) \cdot [(a_{vn} + a_n) \cdot (b_n - b_{vn}) + b_n^2 + b_{vn}^2]}, \quad (3.4)$
где j – плотность тока, А/м; ρ – удельное сопротивление материала провода, Ом м; K_3 – коэффициент заполнения обмотки проводом; U – приложенное	

напряжение, В.	
Число витков W:	
$W = \frac{S_{ок}}{S_{np}} \cdot K_3, \quad (3.5)$	
где $S_{ок}$ – площадь окна магнитопровода, м ² ; S_{np} – сечение провода, м ² .	

Продолжение табл.3.10

$S_{ок} = \frac{h \cdot (d_n - d_{вн})}{2}. \quad (3.6)$	$S_{ок} = \frac{h \cdot (e_n - e_{вн})}{2}. \quad (3.7)$
$S_{np} = \frac{\pi \cdot d_{np}^2}{4}. \quad (3.8)$	
Сопротивление катушки R_K : $R_K = \rho \cdot \frac{l_{np}}{S_{np}}, \quad (3.9)$ где l_{np} – длина провода, м. $l_{np} = w \cdot l_{ср.вит.}, \quad (3.10)$ где $l_{ср.вит.}$ – средняя длина витка, м.	
$l_{ср.вит.} = \pi \cdot \frac{d_{вн} + (d_n - d_{вн})}{2}. \quad (3.11)$	$l_{ср.вит.} = \frac{e_{вн} + (e_n - e_{вн})}{2} \cdot \frac{a_{вн} + (a_n - a_{вн})}{2}. \quad (3.12)$

Компоновка всей конструкции осуществляется следующим образом. На нижнее основание в специальные пазы, симметрично монтируется внутренний каркас. Поверх каркаса вкладывается обмотка при помощи направляющих (из тонкого картона). Эта операция требует особой осторожности, так как края каркаса могут повредить бандаж обмотки. Далее монтируются спирали от большей к меньшей; при этом каждая последующая спираль отделяется немагнитными распорками от предыдущей таким образом, чтоб соблюдалась их соосность друг по отношению к другу. После устанавливается цилиндрический корпус. Завершаю-

щей операцией является установка и закрепление верхнего основания. При этом пазы на внутренней стороне должны точно зафиксироваться на внутреннем каркасе. Вся конструкция стягивается болтовыми соединениями.

Таким образом, при разработке электромагнитного сепаратора, содержащего концентраторы в виде спиралей, принимались к рассмотрению теория и экспериментальные исследования (разд.2, 3), которые отражены в следующих положениях:

1. Использование доступных и недорогих материалов, изготавливаемых промышленностью при разработке электромагнитных сепараторов.

2. Применение магнитного поля как основного фактора силового воздействия при извлечении ферромагнитных частиц из дробленого зерна (без использования ситового эффекта и центробежных сил).

3. Источники питания для создания магнитного поля сепараторов компоновались из выпускаемых серийно элементов и узлов и не требовали дополнительных исследований.

4. Использование электромагнитного сепаратора предлагаемой конструкции или реконструкции существующих магнитных систем с применением насадок в качестве концентраторов поля должно способствовать максимальному использованию силы магнитного поля в рабочей зоне извлечения при сохранении параметров потока муки (скорость, расход и др.) в процессе его переработки.

5. При реконструкции существующих устройств извлечения ферромагнитных частиц максимальное использование их достоинств (простота изготовления, ремонтпригодность, использование доступных материалов и др.), а так же отсутствие в необходимости применения дополнительных систем контроля.

Перечисленные принципы незначительно увеличивают материальные затраты на изготовление и эксплуатацию разрабатываемых конструкций при значительном повышении эффективности их работы.

Заключение

В результате выполненных исследований усовершенствованы существующие и разработаны новые конструкции электромагнитных устройств для очистки дисперсных сельскохозяйственных материалов (в частности дробленого зерна и муки) от ФМЧ. Новизна технических решений защищена 6^ю патентами на изобретения.

Отдельные конструкции – электромагнитный сепаратор и электромагнитный фильтр прошли промышленные испытания и техническая документация принята к рассмотрению на внедрение в агропромышленный комплекс (в сельском (фермерском) хозяйстве „Котон” Волчанского района Харьковской области, а так же передана в виде конструкторской документации фермерскому хозяйству „Товстоган В.О.” Волчанского района Харьковской области).

Суммарный экономический эффект от планируемого внедрения отдельных устройств составляет порядка 30 тыс. грн. (по состоянию на 2005 год).

ОБЩИЕ ВЫВОДЫ

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

1. На основании анализа литературных источников, существующие электромагнитные сепараторы и системы для извлечения ФМЧ из дробленого зерна и муки, используемые в агропромышленном комплексе, а так же математическое моделирование процесса извлечения выявило их низкую эффективность работы. Поэтому задачи по совершенствованию существующих и разработке новых элементов и конструкций электромагнитных сепараторов достаточно актуальны.

2. Анализ существующих электромагнитных сепараторов и систем позволил разработать новые элементы конструкций, которые повышают эффективность извлечения за счет применения разного рода насадок (спиралей, шаров), концентрируя поле внутри рабочей зоны сепаратора.

3. Сформулирована математическая модель в виде системы дифференциальных уравнений для определения динамических характеристик – времени t , скорости u и расстояния R перемещения магнитной частицы в рабочей зоне электромагнитных сепараторов, снабженных концентраторами, позволяющая связать параметры частиц (размер d_T , магнитная восприимчивость χ , плотность ρ_1), среды (воздух - вязкость η_c) и магнитного поля (напряженность H и скорость его изменения $gradH$), благодаря которой предложена методика расчета сепараторов,

снабженных концентраторами, позволяющая определить конструктивные параметры наполнителей: размер концентраторов, расстояние между ними и их компоновку, а так же конструктивные параметры электромагнитной системы.

4. Экспериментально лабораторными исследованиями подтверждены теоретические зависимости извлечения ФМЧ из дробленого зерна, в частности функцию $R = f(I)$ с величиной достоверности аппроксимации 92%.

5. Разработана новая конструкция электромагнитного сепаратора, содержащий ферромагнитные спирали диаметром 2,5 мм в количестве 6 шт, установленные с шагом 11,2 мм, с числом витков 33 шт, который позволяет при минимальных энергозатратах 0,4 кВт получать эффективность извлечения ФМЧ 99%.

6. Экспериментально решен вопрос повторного уноса ФМЧ с поверхности концентратора: удержание частиц возможно при силе тока в обмотке электромагнита сепаратора в 8 раз ниже номинальной при скорости потока пневмотранспорта 20 м/с.

Экономическая оценка (30 тыс. грн./год) проведенных исследований свидетельствует о целесообразности широкого внедрения в производство разработанных электромагнитных сепараторов извлечения ФМЧ из дробленого зерна и муки.

ОБЩИЕ ВЫВОодЫ

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

1. На основании анализа литературных источников, существующие электромагнитные сепараторы и системы для извлечения ФМЧ из дробленого зерна и муки, используемые в агропромышленном комплексе, а так же математическое моделирование процесса извлечения выявило их низкую эффективность работы. Поэтому задачи по совершенствованию существующих и разработке новых элементов и конструкций электромагнитных сепараторов достаточно актуальны.
 2. Анализ существующих электромагнитных сепараторов и систем позволил разработать новые элементы конструкций, которые повышают эффективность извлечения за счет применения разного рода насадок (спиралей, шаров), концентрируя поле внутри рабочей зоны сепаратора.
 3. Сформулирована математическая модель в виде системы дифференциальных уравнений для определения динамических характеристик – времени t , скорости u и расстояния R перемещения магнитной частицы в рабочей зоне электромагнитных сепараторов, снабженных концентраторами, позволяющая связать параметры частиц (размер d_T , магнитная восприимчивость χ , плотность ρ_l), среды (воздух - вязкость η_c) и магнитного поля (напряженность H и скорость его изменения $gradH$), благодаря которой предложена методика расчета сепараторов, снабженных концентраторами, позволяющая определить конструктивные параметры наполнителей: размер концентраторов, расстояние между ними и их компоновку, а так же конструктивные параметры электромагнитной системы.
 4. Экспериментально лабораторными исследованиями подтверждены теоретические зависимости извлечения ФМЧ из дробленого зерна, в частности функцию $R = f(I)$ с величиной достоверности аппроксимации 92%.
 5. Разработана новая конструкция электромагнитного сепаратора, содержащий ферромагнитные спирали диаметром 2,5 мм в количестве 6 шт, установленные с шагом 11,2 мм, с числом витков 33 шт, который позволяет при минимальных энергозатратах 0,4 кВт получать эффективность извлечения ФМЧ 99%.
 6. Экспериментально решен вопрос повторного уноса ФМЧ с поверхности концентратора: удержание частиц возможно при силе тока в обмотке электромагнита сепаратора в 8 раз ниже номинальной при скорости потока пневмотранспорта 20 м/с.
- Экономическая оценка (30 тыс. грн./год) проведенных исследований свидетельствует о целесообразности широкого внедрения в производство разработанных электромагнитных сепараторов извлечения ФМЧ из дробленого зерна и муки.

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. Артимонович П.В. Автоматизация производственных процессов на хлебоприемных и зерноперерабатывающих предприятиях. – М.: Колос, 1973. – 232 с.
4. Архангородский Л.А. Монтаж и наладка оборудования элеваторов, зерноперерабатывающих и комбикормовых предприятий. – М.: Стройиздат, 1974. – 190 с.
5. Баев Е.Ф. Индуктивные элементы с ферромагнитными сердечниками – М.: Агропромиздат, 1988. – 480с.
6. 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.
7. Барьяхтар В.Г., Иванов Б. А. В мире магнитных доменов. – К.: Наукова думка, 1986. – 160 с.
8. Беркутова Н.С. Методы оценки и формирование качества зерна. – М.: Росагропромиздат, 1991.– 203 с.
9. Борошно та хлібобулочні вироби. Нормативні документи: Довідник. У 2т. – Укр. та рос. мовами / За заг. ред. В.Л. Іванова. – Л.: НІЦ „Леонорм”, 2000. – Т.1. – 260с.
10. Бутковский В.А. Технология мукомольного, крупяного и комбикормового производства. – М.: Колос, 1981. – 256с.
11. Бутковский В.А., Мельников Е.М. Технология мукомольного, крупяного и комбикормового производства (с основами экологии). – М.: Агропромиздат, 1989. – 464с.
12. Бэрк Г.Ю. Справочное пособие по магнитным явлениям: Пер. с англ.- М.: Энергоатомиздат, 1991.-384с.
13. 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; Оpubл. 05.02.1977; Бюл. №5. – 4с.

14. Вонсовский С.В. Магнетизм. – М.: Наука, 1984. –208 с.
15. Вонсовский С.В. Современное учение о магнетизме. –М.: ГИТТЛ. 1952. – 360 с.
16. Галицкий Р.Р. Оборудование зерноперерабатывающих предприятий. – М.: Колос, 1982. – 288с.
17. Гальперин Н.И., Айнштейн В.Г. Псевдосжижение.–М.: Знание, 1968.– 63 с.
18. Гмурман В.Е. Теория вероятности и математическая статистика. М.: Высшая школа, 1972. – 375с.
19. Горжинский В.В. Процессы сепарирования на зерноперерабатывающих предприятиях. – М.: Колос, 1980. – 304 с.
20. Деменко О.Н. Пневмотранспорт для транспортировки сои // Хранение и переработка зерна. – 2001. – №7. – С.48.
21. Деркач В.Г. Специальные методы обогащения полезных ископаемых.– М.: Недра, 1966. - 375 с.
22. Дзевецкий К., Лимацкий В. Высокопроизводительная линия очистки зерна // Хранение и переработка зерна. – 2001. - №8. - С. 43-47.
23. 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.
24. Егоров Г.Е. Технология и оборудование мукомольно-крупяного и комбикормового производства. – М.: Колос, 1979. – 368 с.
25. Железоотделитель: А.с. 994010 СССР, МПК³ В03С 1/26 / Лапицкий В.Н., Бабец В.В. (СССР). - №3343244/22-03; Заявлено 27.07.1981; Оpubл. 07.02.1983; Бюл. № 5. –3 с.
26. Жислин Я.М. Выработка муки и крупы в сельскохозяйственном мукомолье. – М.: Колос, 1969. – 160 с.

27. Зарницын В.А. Скорость материала при горизонтальном пневмотранспорте: Автореф. дис. канд. тех. наук / Одес. Гос. Акад. Пищ-х тех-й. – О., 1996.–24с.
28. Золотарев С.М. Проектирование мукомольных, крупяных и комбикормовых заводов – М.: Колос, 1976. – 287 с.
29. Зуев Ф.Г. Пневматическое транспортирование на зерноперерабатывающих предприятиях. – М.: Колос, 1976. – 344с.
30. 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.
31. 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.
32. 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.
33. Кармазин В.И. Современные методы обогащения руд черных металлов. - М.: Гостехиздат, 1962. – 659 с.
34. Кирпа Н.Я. Развитие оборудования и технологий для первичной обработки, сушки и хранения зерна в АПК // Хранение и переработка зерна. –2000. - № 8. - С. 25-27.
35. Константинов В.Е. Магнитные измерения – М.: Энергоатомиздат, 1981, - 230 с.
36. Константинов О.Я. Расчет и конструирование магнитных и электромагнитных приспособлений. - Л.: Машиностроение, 1967. – 314 с.
37. Круг К.А. Основы электротехники. – Л.: Госэнергоиздат, 1966. – 472 с.
38. Кузнецов В.В. Новинка в очистке кормов // Хранение и переработка зерна. – 1999. - №6. - С. 21-23.
39. Кузнецов В.В., Делицина Н.Ю., Науменко В.С. Технология магнитной

сепарации семян кормовых и технических культур с применением регенерированного порошка // Хранение и переработка зерна. – 2001. - №3. - С. 56-58.

40. Кузнецов І.О. До технології вилучення тонкодисперсних феромагнітних домішок з борошна // Праці Таврійської державної агротехнічної академії. - Вип. 1, Т.19. - Мелітополь: ТДАТА. - 2001. – С. 108 –111.

41. Латуш І.І. О техническом оснащении отрасли хлебопечения // Хранение и переработка зерна. – 2001. - №6. - С. 51-53.

42. 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.

43. Магнитный сепаратор: А.с. 1050745 СССР, МПК⁴ В03С 1/10 / Бикбов А.А., Комлев А.М., Буров Г.Ф., Сеницын Е.В., Одинцова Т.В. (СССР). - № 3470034/22-03; Заявлено 19.04.1982; Оpubл. 30.10.1983; Бюл. № 40. – 4 с.

44. Масюткин Е.П., Просвирнин В.И., Кузнецов І.О. Расчет электромагнитных циклонов // Праці Таврійської державної агротехнічної академії. - Вип. 24. - Мелітополь: ТДАТА. - 2004. – С. 47 –55.

45. Машков Б.М. Справочник по качеству зерна и продуктов его переработки. – М.: Колос, 1971. – 352с.

46. Мельников Е.М. Технология крупяного производства. – М.: Агропромиздат, 1991. – 207 с.

47. Механизация послеуборочной обработки и хранения зерна и семян / М.С. Кулагин и др. – М.: Колос, 1979. – 256 с.

48. Опря А.Т. Математическая статистика. К.: Урожай, 1994. – 193с.

49. 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.

50. Парсел Э. Электричество и магнетизм : Пер. с англ. – М.: Наука, 1971. – 448 с.

51. Пат. 1113 Україна, МПК⁷ В03С 1/02. Електромагнітний сепаратор / Просвирнин В.І., Хассай Д.В., Кузнецов І.О. (Україна). - № 2001031637; Заявл.

12.03.2001; Опубл. 17.12.2001; Бюл. № 11. – 4 с.

52. 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.

53. 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.

54. Поливанов К.М. Теоретические основы электротехники. – М.: Энергия, 1975. – т.3. – 203с.

55. Поливанов К.М. Ферромагнетики. – Л.: Госэнергоиздат, 1957. – 256 с.

56. 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. – Мелитополь: ТДАТА. - 1994. - С.52-53.

57. Просвирнин В.И., Кузнецов И.О. К расчету магнитных концентраторов для извлечения ферромагнитных примесей из высокодисперсных материалов // Вісник Харківського державного технічного університету сільського господарства. - Вип. 6. - Харків: „Стас”. - 2001. - С. 514 – 519.

58. Просвирнин В.И., Кузнецов И.О. К теории и расчету магнитных сепараторов для извлечения ферромагнетиков из дисперсных материалов // Електрифікація та автоматизація сільського господарства. - 2004. – №4(9) С. 30 – 35.

59. Просвирнин В.И., Шарапов К.А. Поведение ферромагнитной частицы в магнитном поле // Прикл. магнитодинамика. - Вып. 1. – Севастополь: Приборостроительный институт. – 1968. - С. 46-55.

60. Просвірнін В.І., Хассай Д.В., Кузнецов І.О. Аналіз електротехнологічних систем витягу ферромагнітних тіл з зерна та зернових сумішей // Праці Таврійської державної агротехнічної академії. - Вип. 1, Т.17. - Мелітополь: ТДАТА. - 2000. - С. 3-8.

61. Просвірнін В.І., Хассай Д.В., Митрофанов Є.А. Дослідження магнітного поля електромагнітних сепараторів і залізовіддільників // Праці Таврійської держав-

ної агротехнічної академії. - Вип. 1, Т.19. - Мелітополь: ТДАТА. - 2001. - С. 4–7.

62. Пумпянский А.Я. Технологические свойства мягкой пшеницы (по данным миров. коллекц.). – Л.: Колос, 1971. – 320 с.

63. Румшинский Л.З. Математическая обработка результатов эксперимента. М.: Наука, 1971. – 186с.

64. 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

65. 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.

66. 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; Оpubл. 24.08.1983; Бюл. № 37. – 3 с.

67. Соколов А.Я. Технологическое оборудование предприятий по хранению и переработке зерна. – М.: Колос, 1975. – 272 с.

68. Сочнев А.Я. Теоретическое определение напряженности магнитного поля, создаваемого многополюсной электромагнитной системой // Журн. тех. физ. - 1936. – Вып. 3, Т.6. – С. 14-18.

69. Способ магнитной сепарации: А.с. 1044334 СССР, МПК⁴ В03С 1/24 / Тамбовцев Ю.И. (СССР). - № 3292987/22-03; Заявлено 20.02.1981; Оpubл. 30.09.1983; Бюл. № 36. – 3 с.

70. Сыроватка В.И., Алябьев Е.В. Прогрессивные способы приготовления и хранения кормов. – М.: Колос, 1970. – 224 с.

71. Фейман Р., Лейтон Р., Сэндс М. Феймановские лекции по физике. – М.: Мир, 1977. – 304 с.

72. Фильтр: А.с. 623377 СССР, МКИ³ В01 35/06. /М.Л.Варламов, В.И.Просвирнин, Е.А.Капустин и др. (СССР). - № 249345; Замоу. 08.06.1977 ;

Опубл. 15.11.1978; Бюл. №42. – 3 с.

73. Фукс Н.А. Механика аэрозолей. – М.: АН СССР, 1955. – 352 с.

74. Фукс Н.А. Успехи механики аэрозолей. – М.: АН СССР, 1961.

75. 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.

76. Хассай Д.В. Математичне моделювання вилучення феромагнітних домішок із зерна та зернових сумішок // Праці Таврійської державної агротехнічної академії. - Вип. 1, Т.24. - Мелітополь: ТДАТА. - 2001.– С. 36-41.

77. 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.

78. 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.

79. 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.

80. 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.

81. 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.

82. Цециновский В.М., Птушкина Г.Е. Технологическое оборудование зерноперерабатывающих предприятий. – М.: Колос, 1976. – 298 с.
83. Циборовский Я. Основы процессов химической технологии: Пер. с польск. – Л.: Химия, 1967. – 719 с.
84. Циклон: А.с. 1018717 СССР, МКИ³ В04С 5/12 / Капустин Е.А., Просвирнин В.И., Корт Т.Г., Тимофеев А.Н., Буров Г.А., Держинская Л.Е., Зыков В.Г. (СССР). - № 3384632/23-26; Заявлено 28.01.1982; Оpubл. 23.05.1983; Бюл. № 19. – 3 с.
85. Циклон: А.с. 432928 СССР, МКИ² В04С 5/12 / Просвирнин В.И., Капустин Е.А., Грицай Б.Я., Зыков В.Г. (СССР). - № 1863379/23-26; Заявлено 26.12.1972; Оpubл. 25.06.1984; Бюл. № 23. – 3 с.
86. Циклон: А.с. 510271 СССР, МКИ² В04С 5/12 / Капустин Е.А., Просвирнин В.И., Грицай Б.Я., Халев Б.Г., Зыков В.Г., Корт Т.Г. (СССР). - № 2082415/26; Заявлено 12.12.1974; Оpubл. 15.04.1976; Бюл. № 14. – 2 с.
87. Циклон: А.с. 539612 СССР, МКИ² В04С 5/12 / Капустин Е.А., Просвирнин В.И., Корт Т.Г., Зыков В.Г. (СССР). - № 2091793/26; Заявлено 03.01.1975; Оpubл. 25.12.1976; Бюл. № 47. – 4 с.
88. Циклон: А.с. 580913 СССР, МКИ² В04С 5/12 / Капустин Е.А., Просвирнин В.И., Грицай Б.Я., Трунов А.Я., Соловьев А.А., Корнев В.М., Зыков В.Г. (СССР). - № 2110339/23-26; Заявлено 07.03.1975; Оpubл. 25.11.1977; Бюл. № 44. – 3 с.
89. Циклон: А.с. 611679 СССР, МКИ² В04С 9/00 / Варламов М.Л., Капустин Е.А., Просвирнин В.И., Зыков В.Г., Корт Т.Г. (СССР). - № 2333747/23-26; Заявлено 15.03.1976; Оpubл. 25.06.1978; Бюл. № 23. – 3 с.
90. Циклон: А.с. 700208 СССР, МКИ² В03С 1/30 / Капустин Е.А., Просвирнин В.И., Корт Т.Г., Зыков В.Г., Варламов М.Л., Ревко Л.Г. (СССР). - № 2613383/26-26; Заявлено 05.05.1978; Оpubл. 30.11.1979; Бюл. № 44. – 2 с.
91. Чернилов Л.О. Оборудование элеваторов, складов и зерноперерабатывающих предприятий. Ч.1. – М.: Колос, 1966. – 315 с.
92. Чечурина Е. Н. Приборы для измерения магнитных величин. - М.: Энер-

гия, 1969. - 168с.

93. Чиркова Л.В. О методах и средствах очистки зернопродуктов от ферропримесей // Труды ВНИИЗ. – Вып. 57. – М: ВНИИЗ. – 1967. – С. 35-38.

94. 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.

95. 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.

96. Электродинамический сепаратор: А.с. 1169746 СССР, МПК⁴ В03С 1/02 / Лапицкий В.Н., Бабец В.В. (СССР). - № 2965255/22-03; Заявлено 22.07.1980; Оpubл. 30.07.1985; Бюл. №28. – 3 с.

97. 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; Оpubл. 07.08.1983; Бюл. № 29. – 3 с.

98. 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; Оpubл. 22.04.1983; Бюл. № 21. – 3 с.

99. 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; Оpubл. 05.05.1983; Бюл. № 22. – 2 с.

100. Электромагнитный сепаратор: А.с. 1026829 СССР, МПК⁴ В03С 1/04 / Гладков С.А. (СССР). - № 3408943/22-03; Заявлено 15.03.1982; Оpubл. 07.08.1983; Бюл. № 25. – 4 с.

101. Электромагнитный сепаратор: А.с. 1033206 СССР, МПК⁴ В03С 1/02 / Притуляк Л.Г., Федоренко Н.В. (СССР). - № 3272581/22-03; Заявлено 09.04.1983; Оpubл. 07.08.1983; Бюл. № 29. – 3 с.

102. Электромагнитный турбоциклон: А.с. 606623 СССР, МКИ В03С 1/00

/Кутепов А.М., Терновский Н.Г., Лагуткина М.Г., Пашков В.П. (СССР). - № 2327859/22-03; Заявлено 23.02.1976; Оpubл. 15.05.1978; Бюл. № 18. – 3 с.

103. Электромагнитный циклон: А.с. 1131539 СССР, МКИ³ В03С 3/14 / Просвирнин В.И., Капустин Е.А., Зыков В.Г., Корт Т.Г. (СССР). - № 3577478/23-26; Заявлено 08.04.1983; Оpubл. 30.12.1984; Бюл. № 48. – 2 с.

104. Электромагнитный циклон: А.с. 597421 СССР, МКИ² В03С 3/14 / Варламов М.Л., Капустин Е.А., Просвирнин В.И., Зыков В.Г., Корт Т.Г., Пожидаева М.Г. (СССР). - № 2333548/22-26; Заявлено 15.03.1976; Оpubл. 15.03.1978; Бюл. № 10. – 2 с.

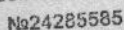
105. Ялпачик Ф.Е. Защита измельчающих аппаратов (от металлических предметов) // Техника в сельском хозяйстве. – 1985. – №1. – с.11-13.

106. <http://www.leonorm.lviv.ua>

107. <http://www.minagro.kiev.ua>

ПРИЛОЖЕНИЕ А

ПРИЛОЖЕНИЕ Б



(Φ.Ι.Ο.)

“ 17 ” 05 2006 г.

Маслюткин

Масюткин Е.П.

16 05 2005 г.

Кузнецов И.О.



«УТВЕРЖДАЮ»

ПРОРЕКТОР з НР ТГАТА

доц. Кюрчев В.Н.

2005 г.

РАСЧЕТ

экономической эффективности применения электромагнитных сепараторов для извлечения ферромагнитных частиц из дробленого зерна

Для оценки целесообразности разработки и внедрения в производство результатов научных исследований и конструкторских разработок, новых устройств, новых и более совершенных технологических процессов, выбора эффективных направлений НИР и т.д. производятся расчеты технико-экономических показателей, важнейшими из которых являются показатели экономической эффективности.

В качестве основного показателя экономической эффективности разрабатываемого электромагнитного сепаратора принимается экономический эффект, определяемый на годовой объем производства муки в расчетном году, представляющий собой суммарную экономию всех производственных ресурсов в результате получения дополнительной прибыли от сокращения недовыпуска качественной муки или дробленого зерна.

За расчетный год принимается первый год после окончания планируемого срока освоения производства разработанного электромагнитного сепаратора. Как правило, это второй или третий календарный год серийного выпуска.

Для обеспечения адекватного в масштабе всего общественного производства подхода к оценке экономической эффективности в расчетах используется единый нормативный коэффициент экономической эффективности капитальных вложений, равный 0,15.

При расчетах годового экономического эффекта можно учитывать фактор

времени. Это осуществляется в тех случаях, когда капитальные вложения производятся на протяжении ряда лет, а также, когда текущие издержки и результаты производства вследствие изменения режима работы существенно меняются по годам эксплуатации. Для учета фактора времени используется дисконтирование – т. е. приведение стоимости единовременных капитальных и текущих затрат на создание и внедрение электромагнитных устройств к началу расчетного года. В нашем расчете учет фактора времени не целесообразен.

Определение годового экономического эффекта основывается на сопоставлении приведенных затрат по базовому и проектируемому вариантам в расчетном году (табл. Б. 1).

Таблица Б.1

Исходные данные для расчета

Наименование показателя	Магнитный сепаратор	
	базовый	проектируемый
Техническая производительность, т/ч	4,2	4,2
Установленная мощность, кВт	-	0,4
Увеличение выхода муки с нормируемым содержанием фмч, %	-	0,21
Стоимость оборудования, грн.	$4 \times 520 = 2080$	$2 \times 380 = 760$

Расчет ведется по годовым текущим затратам, связанным с эксплуатацией разрабатываемого электромагнитного сепаратора.

Годовая производительность (В):

$$B = 4,2 \times 8 \times 280 = 9408 \text{ т/год},$$

где 8 - количество часов работы оборудования в смену;

280 - количество смен работы в году.

Определение размера капиталовложений:

- проект цены:

магнитного сепаратора (базового)

$$3_1 = 4 \times 520 = 2080 \text{ грн};$$

электромагнитного сепаратора (проектируемого)

$$3_2 = 2 \times 380 = 760 \text{ грн.}$$

- затраты на монтаж и доставку:

магнитного сепаратора (базового)

$$2080 \times 0,05 = 104 \text{ грн};$$

электромагнитного сепаратора (проектируемого)

$$760 \times 0,05 = 38 \text{ грн},$$

где 0,05 - норма расхода на монтаж оборудования.

Полные капитальные вложения (К), определяются из выражения:

$$K_1 = 2080 + 104 = 2184 \text{ грн};$$

$$K_2 = 760 + 38 = 798 \text{ грн.}$$

Расчет затрат, связанных с эксплуатацией сепаратора у потребителя:

- расход на электроэнергию:

$$0,4 \times 8 \times 280 \times 0,156 = 139,78 \text{ грн},$$

где 0,156 - цена 1 кВт-ч электроэнергии, грн.

- расходы на капитальный, текущий ремонты и содержание оборудования:

магнитного сепаратора (базового)

$$\frac{2184(3,0 + 5,4)}{100} = 183,46 \text{ грн.},$$

электромагнитного сепаратора (проектируемого)

$$\frac{798(3,0 + 5,4)}{100} = 67,03 \text{ грн.},$$

где 3,0 – норма расходов на капитальный ремонт оборудования, %;

5,4 - норма расходов на текущий ремонт и содержание оборудования, %.

- сумма годовых текущих затрат, связанных с эксплуатацией сепаратора (проектируемого электромагнитного и базового магнитного) представлена в табл. Б.2.

Таблица Б.2

Суммарные годовые затраты, грн.

Наименование затрат	Сумма	
	базовый	проектируемый
Расходы на электроэнергию	-	139,78
Расходы на капитальный ремонт, текущий ремонт и содержание оборудования	183,46	67,03
Итого	$C_1 = 183,46$	$C_2 = 206,81$

Размер дополнительной прибыли, полученной за счет увеличения выпуска муки с нормативным содержанием ферромагнитных частиц.

При работе электромагнитного сепаратора предлагаемой конструкции вся полученная мука пойдет в пищевую промышленность, в то время как при работе существующего (базового) магнитного сепаратора 0,21 % муки шло в комбикормовое производство.

За счет сокращения недовыпуска качественной муки за расчетный год будет получена дополнительная прибыль (П):

$$П_2 - П_1 = (Ц_2 - Ц_1) \times В \times в - (C_2 - C_1)$$

где $Ц_1$ - стоимость 1 тоны муки в комбикорме, грн/т; 1200 грн/т;

$Ц_2$ - стоимость 1 тоны муки, грн/т; 1800 грн/т;

$В$ - количество производимой за год муки, т;

$в$ - удельный вес муки, идущей на комбикормовое производство (0,0021).

$$П_2 - П_1 = (1800 - 1200) \times 9408 \times 0,0021 - (206,80 - 183,4) = 11830,68 \text{ грн.}$$

Годовой экономический эффект от внедрения в промышленность электромагнитного сепаратора (Э):

$$\Xi = Z_1 \times \frac{B_2}{B_1} \times \frac{P_1 + E_H}{P_2 + E_H} + \frac{\Pi_2 - \Pi_1 - E_H(K_2 - K_1)}{P_2 + E_H} - Z_2,$$

где E_H – нормативный коэффициент эффективности капиталовложений, 0,15;

P_2 - доля отчисления от балансовой стоимости на полное восстановление нового устройства; 0,3021.

$$\Xi = 2080 + \frac{11830,68 - 0,15(798 - 2184)}{0,3021 + 0,15} - 760 = 27948,14 \text{ грн.}$$

Таким образом, годовой экономический эффект от применения нового электромагнитного сепаратора составляет 27948,14 грн. в год.

Консультант кафедры „Экономика предприятий”,

к.э.н., доцент



Г. И. Грицаенко

Руководитель к.т.н., доцент



Е. П. Масюткин

Зав. кафедрой „Энергетика”,

д.т.н., проф.



В. И. Просвирнин

Инженер



И. О. Кузнецов

ПРИЛОЖЕНИЕ Г



УКРАЇНА

(19) (UA)

(11) 10518

(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) u 2005 04373

(22) 10.05.2005

(24) 15.11.2005

(46) 15.11.2005. Бюл. № 11

(72) Просвірнін Віктор Іванович, Масюткін Євген Петрович, Кузнєцов Ілля Олегович

(73) Таврійська державна агротехнічна академія

(54) ЕЛЕКТРОМАГНІТНИЙ ФІЛЬТР-СЕПАРАТОР

УКРАЇНА



УКРАЇНА

(19) UA

(11) 10518

(13) U

(51) 7 B03C1/02

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ
І НАУКИ УКРАЇНИДЕРЖАВНИЙ ДЕПАРТАМЕНТ
ІНТЕЛЕКТУАЛЬНОЇ
ВЛАСНОСТІ

ОПИС

ДО ДЕКЛАРАЦІЙНОГО ПАТЕНТУ
НА КОРИСНУ МОДЕЛЬвидається під
відповідальність
власника
патенту

(54) ЕЛЕКТРОМАГНІТНИЙ ФІЛЬТР-СЕПАРАТОР

1

(21) u200504373

(22) 10.05.2005

(24) 15.11.2005

(46) 15.11.2005, Бюл. № 11, 2005 р.

(72) Просвірнін Віктор Іванович, Масюткін Євген
Петрович, Кузнецов Ілля Олегович(73) ТАВРІЙСЬКА ДЕРЖАВНА АГРОТЕХНІЧНА
АКАДЕМІЯ(57) 1. Електромагнітний фільтр-сепаратор, що
містить циліндричний корпус із вхідним і вихідним
патрубками, зовні якого розміщена обмотка, а усе-
редині - феромагнітні насадки, виконані у вигляді
спіралей з магнітного матеріалу, який

2

відрізняється тим, що поверх обмотки встанов-
лений циліндричний феромагнітний каркас, який
має фланці з отворами.2. Електромагнітний фільтр-сепаратор за п. 1, який
відрізняється тим, що отвори фланців виконані у
вигляді сопел Лавалю і розташовані по концен-
тричних окружностях над феромагнітними насад-
ками.3. Електромагнітний фільтр-сепаратор за п. 1, який
відрізняється тим, що сумарний переріз отворів у
кожному фланці дорівнює перерізу вхідного і
вихідного патрубків відповідно.

Корисна модель відноситься до галузі сільсь-
кого господарства, призначена для очищення дис-
персних сипучих матеріалів від феромагнітних
домішок, наприклад подрібненого зерна або бо-
рошна, використовуваних у харчовій промисло-
вості.

Відомий пристрій містить корпус із кришками,
електромагнітну систему й блок концентраторів
[А.с. СРСР №1018717, МПК³ B04C 5/12, B03C 1/00,
1983р.].

Недоліком даного пристрою є те, що робоча
"магнітна" зона вловлювання часток мала через
необґрунтоване розміщення концентраторів і
втрат енергії магнітного поля, через що знижуєть-
ся ступінь очищення високодисперсних сипучих
матеріалів.

Найбільш близьким технічним рішенням, об-
раним як прототип, є електромагнітний фільтр-
сепаратор, який містить циліндричний корпус із
вхідним і вихідним патрубками, зовні якого
розміщена обмотка, а усередині феромагнітні на-
садки, виконані у вигляді спіралей з магнітного
матеріалу [Пат. № 68105А Україна, МПК⁷ B03C
1/02, 2004р.].

Але цей пристрій вимагає більших енерговит-
рат при очищенні дисперсних сипучих матеріалів
від феромагнітних домішок через більші втрати
магнітного поля.

В основу корисної моделі поставлена задача
створення електромагнітного фільтр-сепаратора,
який має циліндричний феромагнітний каркас із
фланцями з отворами, виконаними у вигляді сопел

Лавалю, розміщеними симетрично спіралям, що
дає можливість рівномірно розподілити потік дис-
персних сипучих матеріалів по всьому обсязі
фільтр-сепаратора, ліквідувати забивання сипучи-
ми матеріалами проходів, знизити енерговитрати
на процес очищення за рахунок підвищення на-
пруженості магнітного поля в зоні вловлювання й
підвищити якість дисперсних сипучих матеріалів,
що очищають.

Поставлена задача вирішується за рахунок то-
го, що запропонований електромагнітний фільтр-
сепаратор містить циліндричний корпус із вхідним і
вихідним патрубками, зовні якого розміщена об-
мотка, а усередині феромагнітні насадки, виконані
у вигляді спіралей з магнітного матеріалу
відповідно до корисної моделі поверх обмотки
встановлений циліндричний феромагнітний кар-
кас, який має фланці з отворами.

Поставлена задача вирішується так само за
рахунок того, що отвори фланців виконані у ви-
гляді сопел Лавалю й розташовані по концен-
тричних окружностях над феромагнітними насадками.

Поставлена задача вирішується так само за
рахунок того, що сумарний переріз отворів у кож-
ному фланці дорівнює перерізу вхідного й
вихідного патрубків відповідно.

Таким чином, використання електромагнітного
фільтр-сепаратора даної конструкції дозволить
підвищити ступінь очищення дисперсних сипучих
матеріалів від феромагнітних домішок. Фερο-
магнітний каркас дозволить знизити енерговитрати
на процес уловлювання домішок за рахунок поси-

лення магнітного поля в області вилучення, а отвори у фланцях у формі сопел Лавалю, концентрично розташовані над спіралями рівномірно розподілять потік дисперсних сипучих матеріалів по всьому обсязі фільтр-сепаратора й знизять можливість "зависання" матеріалу у фільтрі.

На фіг.1 зображений електромагнітний фільтр-сепаратор у загальному виді.

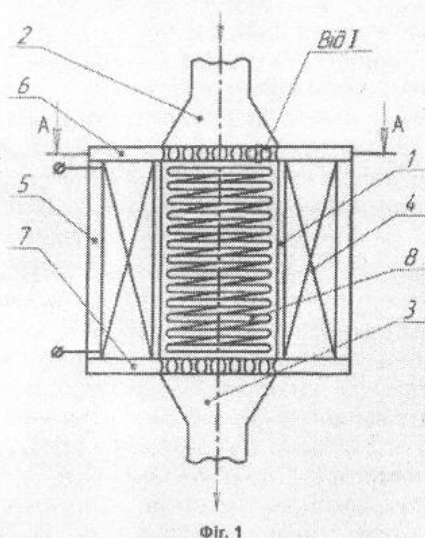
На фіг.2 переріз А-А фіг.1.

На фіг.3 вид І фіг. 1.

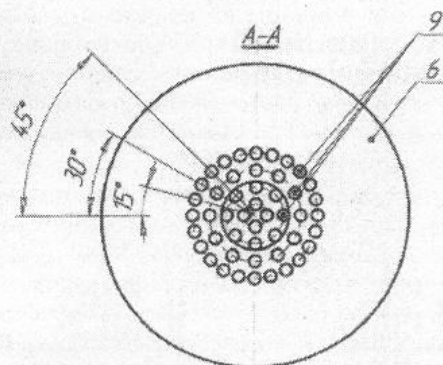
Електромагнітний фільтр-сепаратор складається з немагнітного циліндричного корпусу 1, із закріпленими входним 2 і вихідним 3 патрубками. Зовні корпусу 1 розміщена обмотка 4, над якою встановлений феромагнітний каркас 5 із фланцями 6 й 7, а усередині корпусу 1 закріплені феромагнітні насадки 8, виконані у вигляді спіралей з магнітного матеріалу. Фланці 6 й 7 мають отвори 9, які створені у формі сопел Лавалю й розташовані по концентричних окружностях над феромагнітними насадками 8, причому сумарний переріз отворів 9 у кожному фланці 6 й 7 дорівнює перерізу входного 2 і вихідного 3 патрубків відповідно.

Пристрій працює наступним чином.

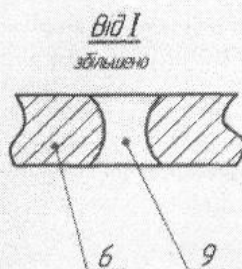
Забруднений феромагнітними домішками високодисперсний матеріал надходить через входний патрубок 2 й отвір 9 фланця 6 в "робочий" обсяг фільтр-сепаратора. При включенні обмотки 4 на постійну напругу створюється магнітне поле, силові лінії якого замикаються між насадками 8 у поздовжньому напрямку фільтр-сепаратора, під дією пондеромоторних сил якого кожна частка феромагнетики, виявившись в "зоні вловлювання" фільтр-сепаратора, притягнеться до поверхонь насадок 8. Збільшення напруженості поля в "робочому" обсязі фільтр-сепаратора при постійних енерговитратах забезпечено за рахунок зниження магнітних потоків розсіювання при допомозі феромагнітного каркаса 5 і фланців 6, 7. Очищений високодисперсний матеріал через отвори 9 у фланці 7 і вихідний патрубок 3 надходить на інші технологічні операції. Отвори 9 у фланцях 6, 7 розташовані таким чином, щоб потік дисперсного матеріалу надходив прямо на насадки 8, що дає можливість його рівномірно розподілити по всьому обсязі фільтр-сепаратора. Видалення вловлених феромагнітних часток здійснюється шляхом відключення струму в соленоїді 4 при повній зупинці технологічної лінії.



Фіг. 1



Фіг. 2



Фіг. 3

ПРИЛОЖЕНИЕ Д



УКРАЇНА

(19) (UA)

(11) 68105 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) 2003109069
(22) 07.10.2003
(24) 15.07.2004
(46) 15.07.2004. Бюл. № 7

(72) Просвірнін Віктор Іванович, Масюткін Євген Петрович, Кузнецов Ілля Олегович
(73) Таврійська державна агротехнічна академія

(54) ЕЛЕКТРОМАГНІТНИЙ ФІЛЬТР-СЕПАРАТОР



УКРАЇНА

(19) UA (11) 68105 (13) A

(51) 7 B03C1/02

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ
І НАУКИ УКРАЇНИДЕРЖАВНИЙ ДЕПАРТАМЕНТ
ІНТЕЛЕКТУАЛЬНОЇ
ВЛАСНОСТІ

ОПИС

ДО ДЕКЛАРАЦІЙНОГО ПАТЕНТУ
НА ВИНАХІДвидається під
відповідальність
власника
патенту

(54) ЕЛЕКТРОМАГНІТНИЙ ФІЛЬТР-СЕПАРАТОР

1

(21) 2003109069
(22) 07.10.2003
(24) 15.07.2004
(46) 15.07.2004, Бюл. № 7, 2004 р.
(72) Просвірін Віктор Іванович, Масюткін Євген Петрович, Кузнецов Ілля Олегович
(73) ТАВРІЙСЬКА ДЕРЖАВНА АГРОТЕХНІЧНА АКАДЕМІЯ
(57) 1. Електромагнітний фільтр-сепаратор, що містить циліндричний корпус із вхідним і вихідним патрубками, зовні якого розміщена електромагнітна система, а усередині - феромагнітні насадки,

2

закріплені на внутрішній і зовнішній поверхнях концентричних немагнітних труб, який відрізняється тим, що насадки виконані у вигляді феромагнітних спіралей.

2. Електромагнітний фільтр-сепаратор за п. 1, який відрізняється тим, що крок спіралей дорівнює не менше трьох діаметрів проводу спіралі, при цьому її довжина не перевищує висоти електромагнітної системи.

3. Електромагнітний фільтр-сепаратор за п. 1, який відрізняється тим, що крок немагнітних труб по горизонталі дорівнює не менше 3-4 мм.

Винахід відноситься до галузі сільського господарства, призначено для очищення вискодисперсних сипучих матеріалів від феромагнітних домішок, наприклад борошна, використовуваного в харчовій промисловості.

Відомий пристрій містить корпус із кришками, електромагнітну систему і блок концентраторів (А.С. СССР №1018717, МПК³ B04C5/12, B03C1/00, 1983г.).

Недоліком даного пристрою є те, що робоча „магнітна” зона уловлювання часток мала через необґрунтоване розміщення концентраторів, що знижує ступінь очищення матеріалів.

Найбільш близьким технічним рішенням, обраним як прототип, є циклон, що містить вхідний і вихідні патрубки, циліндричний корпус зовні якого розміщена електромагнітна система, а усередині феромагнітні насадки, закріплені на внутрішній поверхні концентричних немагнітних труб (А.С. СССР №539612, МПК B04C5/12, 1976г.).

Однак цей пристрій неякісно очищає вискодисперсні матеріали від феромагнетиків через малі обсяги „зон уловлювання” (маленькі фаски на магнітних насадках не забезпечують необхідного розподілу магнітного поля по всьому робочому обсязі).

В основу винаходу поставлена задача створення електромагнітного фільтр-сепаратора, у якому в якості концентраторів полю служать насадки, виконані у вигляді феромагнітних спіралей, розташованих зовні й у середині немагнітних закріп-

лених між собою циліндричних трубах, що дає можливість рівномірно розподілити магнітний потік по всьому обсязі фільтр-сепаратора і підвищити ступінь очищення вискодисперсних матеріалів.

Поставлена задача вирішується за рахунок того, що запропонований електромагнітний фільтр-сепаратор містить циліндричний корпус із вхідним і вихідним патрубками, зовні якого розміщена електромагнітна система, а усередині феромагнітні насадки, закріплені на внутрішній і зовнішній поверхнях концентричних немагнітних труб, згідно винаходу насадки виконані у вигляді феромагнітних спіралей.

Поставлена задача вирішується так само за рахунок того, що крок спіралей дорівнює не менш 3х діаметрів проводу спіралі, при цьому її довжина не перевищує висоти електромагнітної системи.

Поставлена задача вирішується за рахунок того, що крок немагнітних труб по горизонталі дорівнює не менш 3-4мм.

Таким чином, використання електромагнітного фільтр-сепаратора даної конструкції дозволить підвищити ступінь очищення вискодисперсних сільськогосподарських матеріалів від феромагнітних домішок. Насадки у вигляді спіралей запропонованої конструкції, а також їхнє розташування дозволить сконцентрувати сили магнітного поля в „зоні уловлювання” фільтр-сепаратора, що діють на феромагнітні частки, для підвищення ефективності їхнього витягу.

(13) A
(11) 68105
(19) UA

На фіг.1 зображений електромагнітний фільтр-сепаратор у загальному виді.

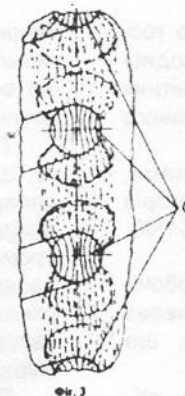
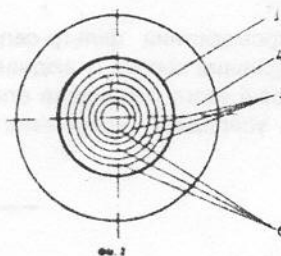
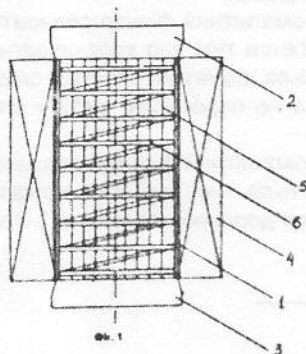
На фіг.2 вид А фіг. 1.

На фіг.3 вузол І фіг.1.

Електромагнітний фільтр-сепаратор складається з немагнітного циліндричного корпуса 1, із закріпленими входним 2 і вихідним 3 патрубками. Зовні корпуса 1 розміщена електромагнітна система, що складається із соленоїда 4, а усередині корпуса 1, закріплені на внутрішній поверхні циліндричних немагнітних труб 5 насадки 6, виконані у виді феромагнітних спіралей, причому крок спіралей дорівнює не менш $3 \times$ діаметрів проводу спіралі, при цьому її довжина не перевищує висоти електромагнітної системи, а крок немагнітних труб по горизонталі дорівнює не менш $3 \div 4$ мм.

Пристрій працює таким чином. Забруднений феромагнітними домішками високодисперсний матеріал надходить через входний патрубок 2 у „робочий” обсяг фільтр-сепаратора. При включенні соленоїда 4 на постійну напругу створюється маг-

нітне поле, між насадкам 6 у подовжньому напрямку фільтр-сепаратора, під дією пондеромоторних сил якого кожна частка феромагнетика, виявившись у „зоні уловлювання” фільтр-сепаратора, притягнеться до поверхні насадок 6, які виконані у виді феромагнітних спіралей. Очищений високодисперсний матеріал, через вихідний патрубок 3 надходить на інші технологічні операції. Розташування насадок 6 у виді спіралі з кроком, рівним $3 \times$ діаметрам дозволить сконцентрувати магнітне поле між елементами спіралі в „зонах уловлювання” фільтр-сепаратора, що підвищить ступінь очищення. Очищення уловлених феромагнітних часток здійснюється шляхом відключення струму в соленоїді 4 при повній зупинці технологічної лінії. Зменшення кроку немагнітних труб 5 менш 3 мм приведе до забивання борошном фільтра-сепаратора, а збільшення більш 4 мм - до зменшення „зон уловлювання” у його робочому обсязі.



ПРИЛОЖЕНИЕ Е



УКРАЇНА

(11) 50316 A

(19) (UA)

(51) 7 B04C5/12

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) 2001128836

(22) 20.12.2001

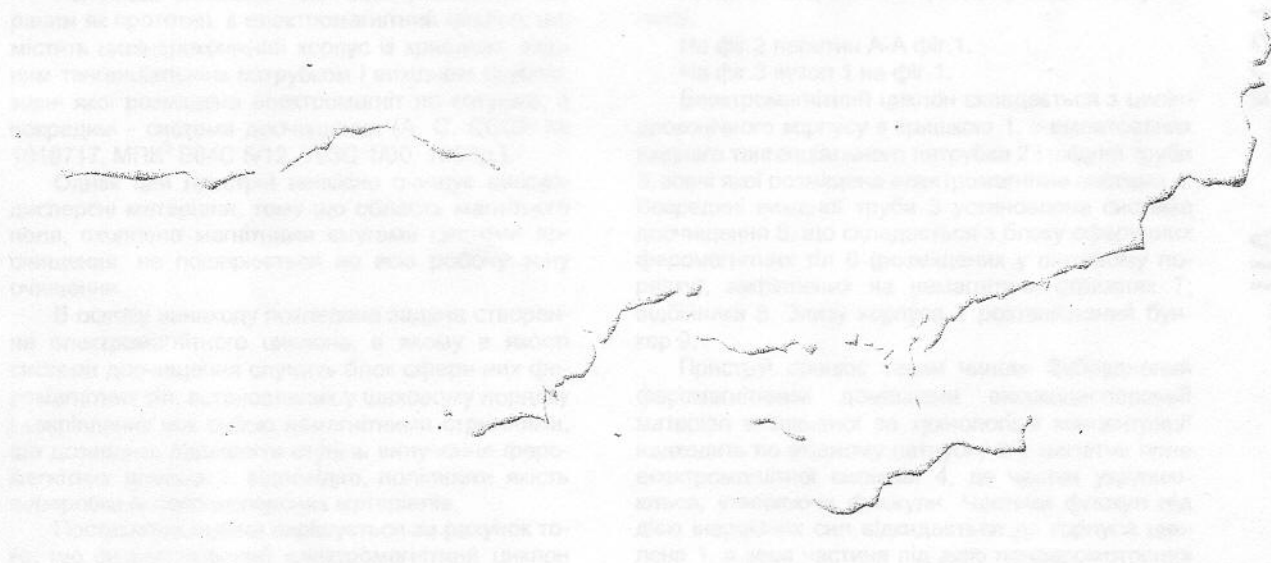
(24) 15.10.2002

(46) 15.10.2002. Бюл. № 10

(72) Просвірнін Віктор Іванович, Кузнецов Ілля Олегович

(73) Таврійська державна агротехнічна академія

(54) ЕЛЕКТРОМАГНІТНИЙ ЦИКЛОН





УКРАЇНА

(19) UA

(11) 50316

(13) A

(51) 6 B04C5/12

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ
І НАУКИ УКРАЇНИДЕРЖАВНИЙ ДЕПАРТАМЕНТ
ІНТЕЛЕКТУАЛЬНОЇ
ВЛАСНОСТІ

ОПИС

ДО ДЕКЛАРАЦІЙНОГО ПАТЕНТУ
НА ВІНАХІДвидається під
відповідальністю
власника
патенту

(54) ЕЛЕКТРОМАГНІТНИЙ ЦИКЛОН

1

(21) 2001128836

(22) 20.12.2001

(24) 15.10.2002

(46) 15.10.2002, Бюл. № 10, 2002р.

(72) Просвірін Віктор Іванович, Кузнецов Ілля
Олегович(73) ТАВРІЙСЬКА ДЕРЖАВНА АГРОТЕХНІЧНА
АКАДЕМІЯ

2

(57) Електромагнітний циклонт, що містить циліндроконічний корпус із кришкою, бункер, вхідний патрубок і вихідну трубу, зовні якої розміщена електромагнітна система, а всередині - блок доочищення, який відрізняється тим, що блок доочищення виконаний зі сферичних феромагнітних тіл, встановлених у шаховому порядку і скріплених між собою немагнітними стрижнями.

Винахід відноситься до галузі сільського господарства, призначений для вилучення феромагнітних домішок з високодисперсних сільськогосподарських матеріалів, наприклад, борошна.

Відомий електромагнітний циклонт містить корпус, кришку, вхідний і вихідний патрубки, електромагнітну систему, бункер (А. С. СССР № 700208, МПК² B03C 1/30, U04C 9/00, 1970р.).

Недоліком даної конструкції є те, що феромагнітні домішки, які накопичуються на стінках корпусу, піддаються повторному віднесенню потоком сировини, яка очищається, що веде до зменшення ступеня очистки.

Найбільш близьким технічним рішенням, обраним як прототип, є електромагнітний циклонт, що містить циліндроконічний корпус із кришкою, вхідним тангенціальним патрубком і вихідною трубою, зовні якої розміщена електромагніт на котушка, а всередині - система доочищення (А. С. СССР № 1018717, МПК³ B04C 5/12, U03C 1/00, 1983р.).

Однак цей пристрій неякісно очищує високодисперсні матеріали, тому що область магнітного поля, охоплена магнітними смугами системи доочищення, не поширюється на всю робочу зону очищення.

В основу винаходу покладена задача створення електромагнітного циклона, в якому в якості системи доочищення служить блок сферичних феромагнітних тіл, встановлених у шаховому порядку і закріплених між собою немагнітними стрижнями, що дозволить підвищити ступінь вилучення феромагнітних домішок і, відповідно, поліпшити якість переробки високодисперсних матеріалів.

Поставлена задача вирішується за рахунок того, що запропонований електромагнітний циклонт

містить циліндроконічний корпус з кришкою, бункер, вхідний патрубок і вихідну трубу, зовні якої розміщена електромагнітна система, а всередині - блок доочищення; згідно винаходу, блок доочищення виконаний зі сферичних феромагнітних тіл, встановлених у шаховому порядку і скріплених між собою немагнітними стрижнями.

Таким чином, використання електромагнітного циклона даної конструкції дозволить підвищити ступінь витягу феромагнітних домішок; „шахове” розташування сферичних феромагнітних тіл дозволить рівномірно розподілити магнітне поле по всій робочій зоні камери доочищення.

На фіг.1 зображений циклонт у загальному вигляді.

На фіг.2 перетин А-А фіг.1.

На фіг.3 вузол 1 на фіг.1.

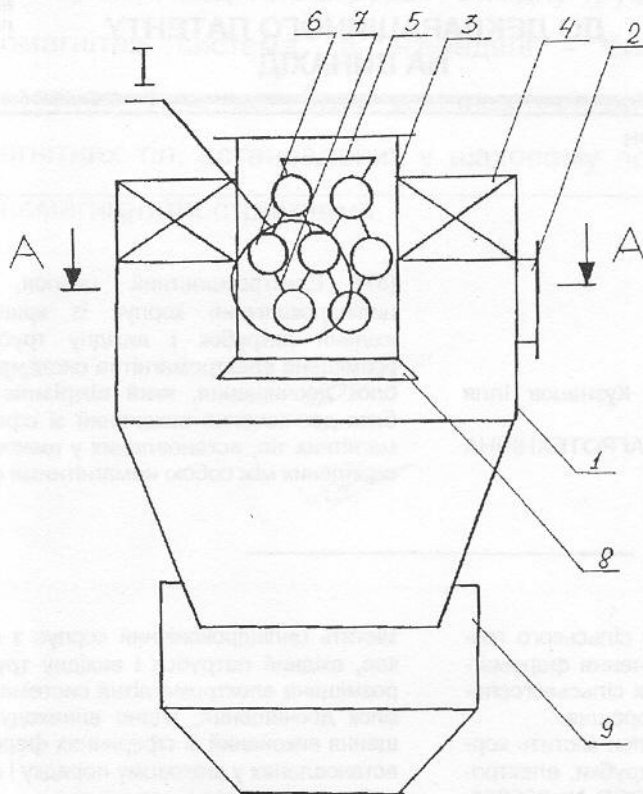
Електромагнітний циклонт складається з циліндроконічного корпусу з кришкою 1, з вмонтованих вхідного тангенціального патрубка 2 і вхідної труби 3, зовні якої розміщена електромагнітна система 4. Всередині вихідної труби 3 установлена система доочищення 5, що складається з блоку сферичних феромагнітних тіл 6 (розміщених у шаховому порядку), закріплених на немагнітних стрижнях 7; відбійника 8. Знизу корпусу 1 розташований бункер 9.

Пристрій працює таким чином. Забруднений феромагнітними домішками високодисперсний матеріал визначеної за технологією концентрації надходить по вхідному патрубку 2 у магнітне поле електромагнітної системи 4, де частки укрупнюються, утворюючи флокули. Частина флокул під дією інерційних сил відкидається до корпусу циклона 1, а інша частина під дією пондеромоторних

(19) UA (11) 50316 (13) A

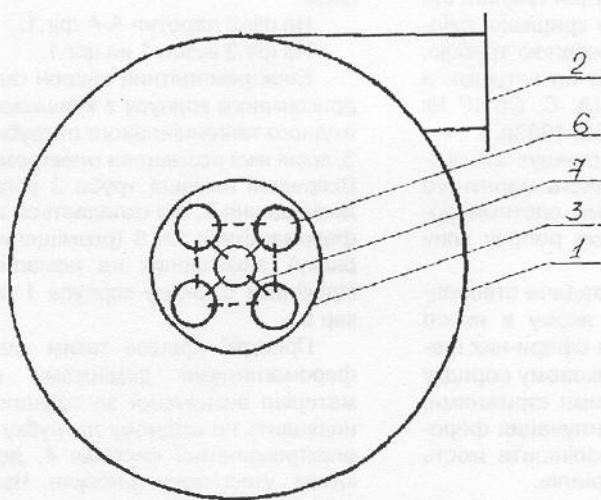
сил притягається до вихідній труби 3 і під дією обертowego потоку сповзає, униз, відскакуючи від відбійника 8, потрапляють у бункер 9. Очищений матеріал надходить у вихідну трубу 3, де відбувається тонке доочищення системою 5. Магнітний потік проходить через феромагнітні тіла 6, пропорційно розділяючись, „заповнює” усю робочу зону

в системі доочищення 5. Найбільша напруженість поля створюється з тих боків сферичних тіл, що ближче всього знаходяться один до одного в напрямку руху основного магнітного поля електромагнітної системи 4. Регенерація системи доочищення 5 здійснюється відключенням електромагнітної системи 4 на 1 хвилину.



Фиг.1

A-A



Фиг.2

I

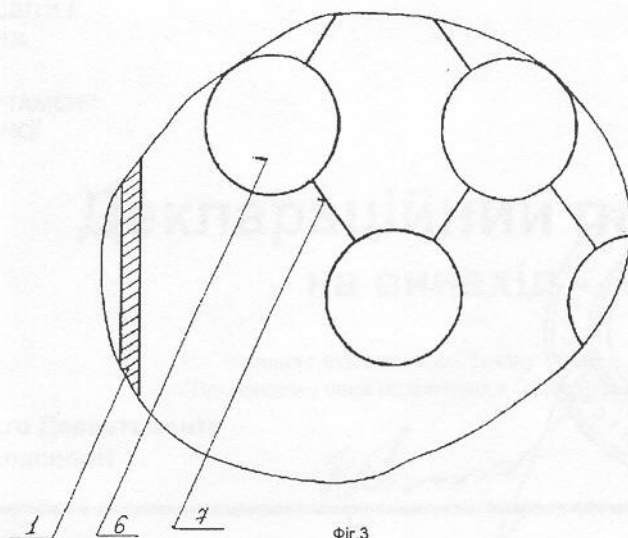


Fig. 3

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

ПРИЛОЖЕНИЕ Ж



УКРАЇНА

(19) (UA)

(11) 55735 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) 2002054403

(22) 29.05.2002

(24) 15.04.2003

(46) 15.04.2003. Бюл. № 4

(72) Просвірнін Віктор Іванович, Кузнецов Ілля Олегович

(73) Таврійська державна агротехнічна академія

(54) ЕЛЕКТРОМАГНІТНИЙ ФІЛЬТР



УКРАЇНА

(19) UA (11) 55735 (13) A

(51) 7 B03C1/02

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ
І НАУКИ УКРАЇНИДЕРЖАВНИЙ ДЕПАРТАМЕНТ
ІНТЕЛЕКТУАЛЬНОЇ
ВЛАСНОСТІОПИС
ДО ДЕКЛАРАЦІЙНОГО ПАТЕНТУ
НА ВИНАХІДвидається під
відповідальність
власника
патенту

(54) ЕЛЕКТРОМАГНІТНИЙ ФІЛЬТР

1

2

(21) 2002054403

(22) 29.05.2002

(24) 15.04.2003

(46) 15.04.2003, Бюл. № 4, 2003 р.

(72) Просвірін Віктор Іванович, Кузнецов Ілля
Олегович(73) ТАВРІЙСЬКА ДЕРЖАВНА АГРОТЕХНІЧНА
АКАДЕМІЯ(57) 1. Електромагнітний фільтр містить
циліндричний корпус з вхідним і вихідним патруб-
ками, зовні якого розміщена електромагнітна сис-

тема, а усередині феромагнітні кільця, закріплені на внутрішній і зовнішній поверхнях концентричних немагнітних труб, який відрізняється тим, що феромагнітні кільця в поперечному перерізі виконані у вигляді рівнобедреного трикутника у вершині з тупим кутом.

2. Електромагнітний фільтр по п. 1, який відрізняється тим, що кільця на трубах зміщені відносно один одного в „шаховому” порядку з кроком по вертикалі і горизонталі у відношенні 1:2.

Винахід відноситься до галузі сільського господарства і призначено для очищення сипучих, високодисперсних матеріалів від феромагнітних домішок, наприклад борошна, що використовується в харчовій промисловості.

Відомий пристрій містить корпус з кришками, електромагнітну систему і блок концентраторів (А.С. СССР № 1018717, МПК³ B04C 5/12, B03C 1/00, 1983р.).

Недоліком даної конструкції є те, що напруженість поля усередині концентратора невисока, через велику відстань між пластинами концентратора через що знижується ступінь очищення продукції.

Найбільш близьким технічним рішенням, обраним як прототип, є циклон, що містить вхідний і вихідний патрубки, циліндричний корпус зовні якого розміщена електромагнітна система, а усередині феромагнітні кільця, закріплені на внутрішній і зовнішній поверхнях концентричних немагнітних труб (А.С. СССР № 539612, МПК² B04C 5/12, 1976р.).

Однак цей пристрій неякісно очищає високодисперсні матеріали від феромагнетиків через малі обсяги „зон вилучення” (маленькі фаски на магнітних кільцях не забезпечують необхідної турбулентності потоку матеріалу, що очищується).

В основу винаходу поставлена задача удосконалення електромагнітного фільтра, в якому в якості концентратора поля є феромагнітні кільця, які у перерізі мають вигляд рівнобедреного трикутника у вершині з тупим кутом, що дає можливість

збільшити турбулентність високодисперсних матеріалів і підвищити ступінь очищення.

Поставлена задача вирішується тим, що запропонований електромагнітний фільтр містить циліндричний корпус з вхідним і вихідним патрубками, зовні якого розміщена електромагнітна система, а усередині феромагнітні кільця, закріплені на внутрішній і зовнішній поверхнях концентричних немагнітних труб, згідно винаходу феромагнітні кільця в поперечному перерізі виконані у вигляді рівнобедреного трикутника у вершині з тупим кутом.

Поставлена задача вирішується також тим, що кільця на трубах зміщені відносно один одного в „шаховому” порядку з кроком по вертикалі і горизонталі у відношенні 1:2.

Таким чином, використання електромагнітного фільтра даної конструкції дозволить підвищити ступінь очищення високодисперсних сільськогосподарських матеріалів від феромагнітних домішок. Кільця запропонованої конструкції, а також їх „шахове” розташування дозволить збільшити турбулентність матеріалу, що очищується, і відповідно кожна феромагнітна частка виявиться в „зоні вилучення” фільтра.

На фіг.1 зображений електромагнітний фільтр у загальному вигляді.

На фіг.2 вузол I фіг.1.

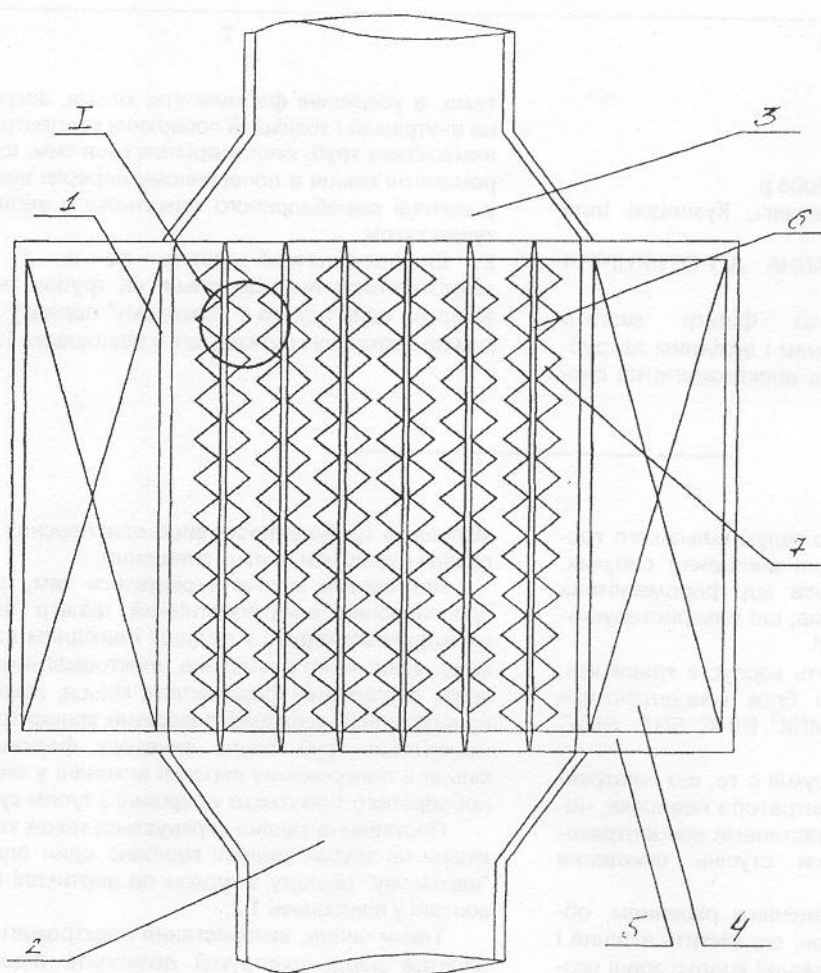
Електромагнітний фільтр складається з немагнітного циліндричного корпусу 1, з закріпленими вхідним 2 і вихідним 3 патрубками. Зовні корпусу 1 розміщена електромагнітна система, що складається із соленоїда 4 і магнітопроводу 5, а усередині

(13) A
(11) 55735
(19) UA

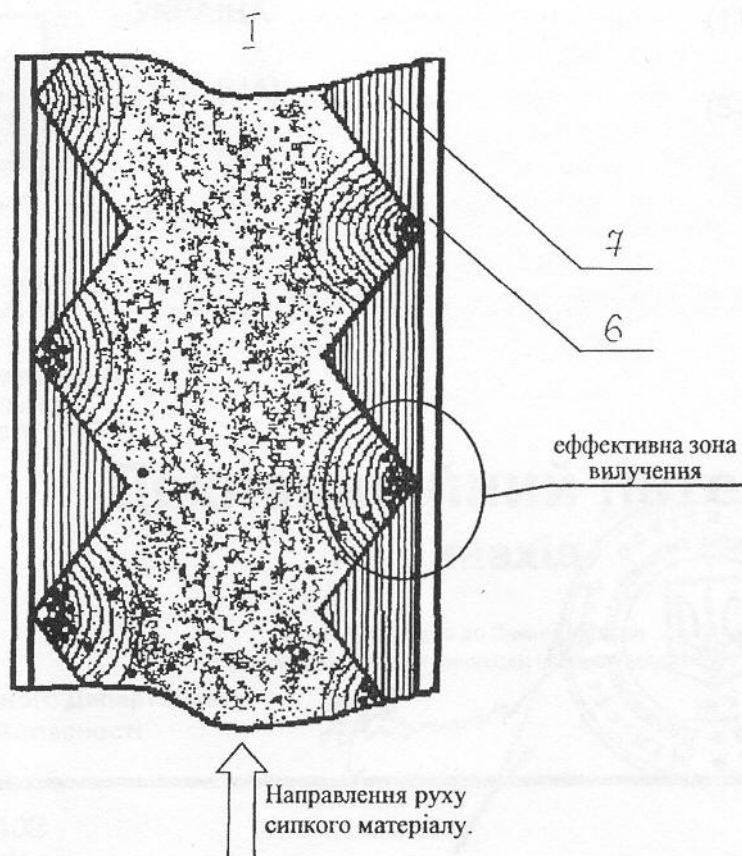
ні корпуса 1, на немагнітних трубах 6 закріплені на внутрішній і зовнішній поверхнях феромагнітні кільця 7, у поперечному перерізі виконані у виді рівнобедреного трикутника у вершині з тупим кутом.

Пристрій працює таким чином. Забруднений феромагнітними домішками вискодисперсний матеріал надходить через вхідний патрубок 2 у робочу область фільтра. Тому що щільність феромагнітних часток вище щільності матеріалу, то під дією інерційних сил турбулентного потоку кожна частка феромагнетику виявиться в "зоні вилучення" фільтра. Під дією магнітного поля, що за-

микається по магнітопроводу 5 і феромагнітних кільцях 7 утворюються "зони вилучення", у яких частки затримуються між кільцями 7, а очищений матеріал, через вихідний патрубок 3 надходить на інші технологічні операції. Розташування кілець у "шаховому" порядку з кроком по вертикалі і горизонталі у відношенні 1:2 дозволить добитися високої турбулентності матеріалу, що очищається, а також сконцентрувати магнітне поле тільки між кільцями 7 в "зонах вилучення" фільтра, що підвищить ступінь очищення. Видалення уловлених часток здійснюється шляхом відключення струму в соленоїді 4 при повній зупинці технологічної лінії.



Фиг. 1



Фіг.2

ПРИЛОЖЕНИЕ 3



УКРАЇНА

(19) (UA)

(11) 6819

(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) 20041109790

(22) 29.11.2004

(24) 16.05.2005

(46) 16.05.2005. Бюл. № 5

(72) Просвірнін Віктор Іванович, Кузнецов Ілля Олегович, Богатирьов Юрій Олегович

(73) Таврійська державна агротехнічна академія

(54) МАГНІТНИЙ СЕПАРАТОР



УКРАЇНА

(19) UA

(11) 6819

(13) U

(51) 7 B03C1/02

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ
І НАУКИ УКРАЇНИДЕРЖАВНИЙ ДЕПАРТАМЕНТ
ІНТЕЛЕКТУАЛЬНОЇ
ВЛАСНОСТІОПИС
ДО ДЕКЛАРАЦІЙНОГО ПАТЕНТУ
НА КОРИСНУ МОДЕЛЬвидається під
відповідальність
власника
патенту

(54) МАГНІТНИЙ СЕПАРАТОР

1

(21) 20041109790

(22) 29.11.2004

(24) 16.05.2005

(46) 16.05.2005, Бюл. № 5, 2005 р.

(72) Просвірнін Віктор Іванович, Кузнецов Ілля
Олегович, Богатирьов Юрій Олегович

(73) Таврійська державна агротехнічна академія

(57) 1. Магнітний сепаратор, що складається з системи магнітів з полюсами, пристрою транспортування зерна і вібратора, який відрізняється тим, що в ньому додатково встановлено первинний перетворювач індукції магнітного поля, підсилюва-

2

льно-комутуючий блок і механізм регулювання висоти підвішування системи магнітів.

2. Магнітний сепаратор за п.1, який відрізняється тим, що як первинний перетворювач використовується датчик Холла, встановлений напроти полюсів системи магнітів за шаром зерна на початку зони витяжки.

3. Магнітний сепаратор за п.1, який відрізняється тим, що керування механізмом регулювання висоти підвішування системи магнітів відносно шару зерна здійснюється імпульсом напруги від датчика Холла, через підсилювально-комутуючий блок.

Корисна модель відноситься до галузі сільськогосподарства і призначена для очищення зерна та його сумішей від магнітних тіл.

Відомий пристрій містить систему електромагнітів з полюсами, пристрій для завантаження і транспортування зерна з магнітними тілами, прийомні бункери для продуктів поділу і вібратори, що забезпечують вібрацію сипкого матеріалу з різною частотою під і між полюсами електромагніта [А.С. СРСР №545383 МПК⁶ B03C/08, 1977].

Недоліком даного пристрою є те, що пристрій не дозволяє якісно вилучати магнітні тіла з зернового потоку і вимагає частого обслуговування.

Найбільш близьким технічним рішенням, обраним в якості прототипу, є пристрій, який містить систему електромагнітів з полюсами полярності, яка чередується, пристрій транспортування зерна і вібратор. [Пат. 38894 Україна, МПК⁷ B03C1/08, 2001].

Однак цей пристрій незадовільно очищає зерно і його суміші від магнітних тіл через зменшення зони витяжки і налипання тіл та замикання основного магнітного потоку (утворення так званих "магнітних шунтів").

В основу корисної моделі поставлена задача створення магнітного сепаратора, в якому утворення "магнітних шунтів" реєструється датчиком Холла і за допомогою підсилювально-комутуючого блоку регулюється висота підвішування системи магнітів, що дозволяє зберегти постійною силу

магнітного поля і якість витяжки магнітних тіл із зерна та його сумішей.

Поставлена задача вирішується за рахунок того, що в магнітний сепаратор, що складається із системи магнітів з полюсами, пристрою транспортування зерна і вібратора, відповідно до корисної моделі додатково встановлений первинний перетворювач індукції магнітного поля, підсилювально-комутуючий блок і механізм регулювання висоти підвішування системи магнітів.

Поставлена задача вирішується також за рахунок того, що відповідно до корисної моделі, як первинний перетворювач використовується датчик Холла, встановлений напроти полюсів системи магнітів за шаром зерна на початку зони витяжки.

Поставлена задача вирішується також за рахунок того, що відповідно до корисної моделі, керування механізмом регулювання висоти підвішування системи магнітів стосовно шару зерна здійснюється імпульсом напруги від датчика Холла, через підсилювально-комутуючий блок.

Таким чином, використання магнітного сепаратора даної конструкції дозволить підвищити ступінь очищення зерна від магнітних тіл. Датчик Холла реагує на зміну значення індукції полюса системи магнітів у зоні витяжки та імпульсом напруги через підсилювально-комутуючий блок регулює висоту підвішування, що дозволить підвищити ефективність витяжки магнітних тіл і якість зерна, що очищається.

(13) U

(11) 6819

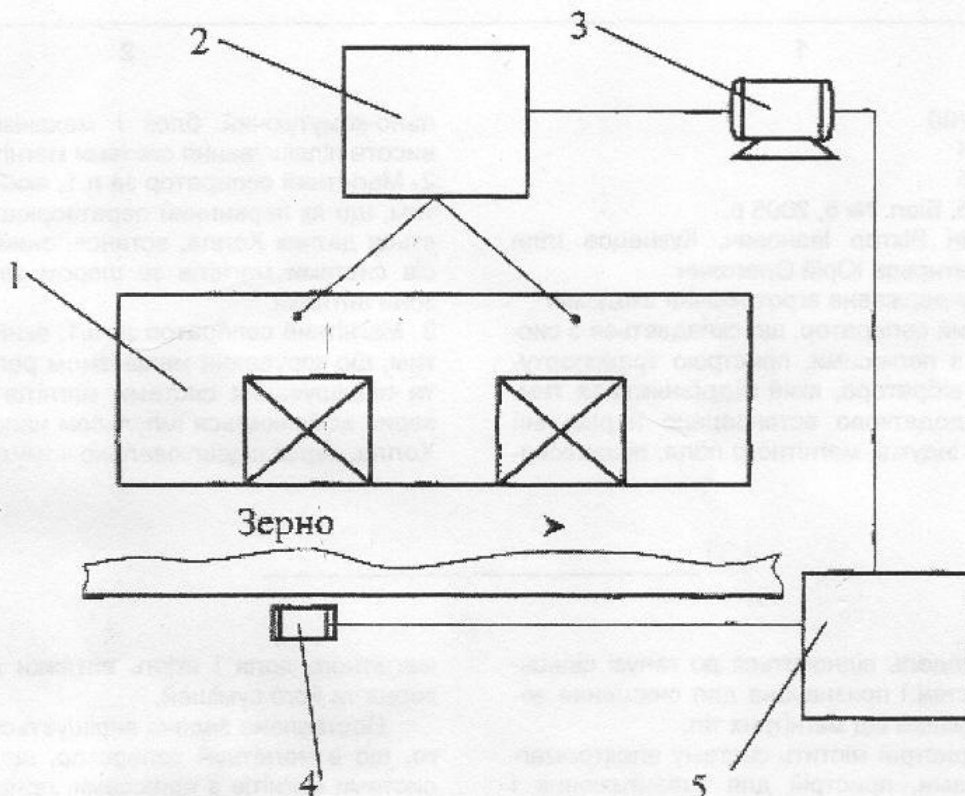
(19) UA

На Фіг.1 зображений магнітний сепаратор у загальному виді.

Магнітний сепаратор складається із системи магнітів 1, що підвишені кріпленнями до механізму регулювання висоти підвішування 2 системи магнітів 1, постаченого електроприводом 3. Напроти полюсів системи магнітів 1 за шаром зерна розташовується датчик Холла 4, який керує електроприводом 3 імпульсом напруги через підсилювально-комутуючий блок 5.

Пристрій працює таким чином. У процесі роботи магнітного сепаратора відбувається налипання

на поверхню системи магнітів 1 часток, що приводить до утворення "магнітних шунтів", через які сила магнітного поля в зоні витяжки послаблюється. Зміна поля фіксується датчиком Холла 4, від якого імпульс напруги надходить на підсилювально-комутуючий блок 5, що включає електропривод 3. Електропривод 3 за допомогою механізму регулювання висоти підвішування 2 системи магнітів 1 змінює їх положення, опускаючи на задану висоту, таким чином, компенсуючи ослаблення магнітного поля.



Фіг. 1

ПРИЛОЖЕНИЕ И



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 № 3687-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, Кузнецов 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, відрізняючись від прототипу, 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 B03C1/08, 1977).

Однак, цей пристрій має більшу енергоємність через наявність 3 приводів – вібратора 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 радіусу 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.

(13) A
(11) 38894
(19) UAВх. № 303
27 03 2002

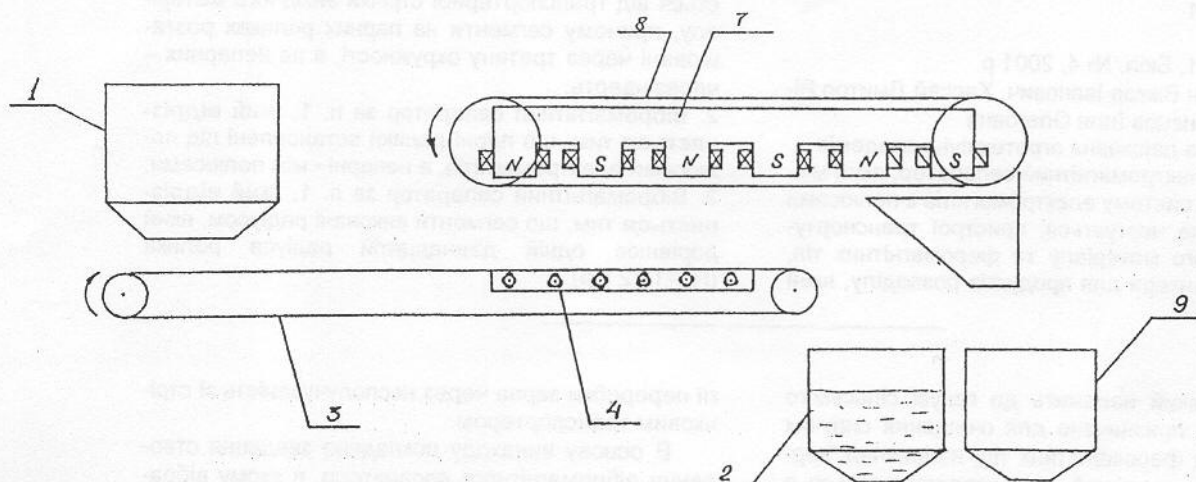
На фіг. 1 зображено схему функціонування технологічного процесу вилучення феромагнітних тіл із сипучих матеріалів.

На фіг. 2 зображено фрагмент непарних роликів із сегментами.

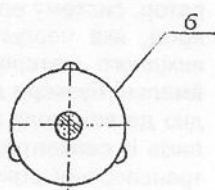
На фіг. 3 зображено фрагмент парних роликів із сегментами.

Віброелектромагнітний сепаратор складається з: бункерів 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.

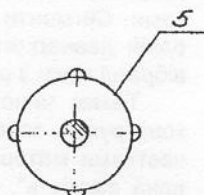
Пристрій працює таким чином. Маса сипучого матеріалу, наприклад, зернової суміші з феромагнітними домішками, надходить з вихідного бункера 1 на транспортер 3. Рухаючись зі стрічкою транспортера 3, маса надходить на ділянку блока роликів із сегментами 4, де відбувається "кипіння" сипучого матеріалу під 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

ПРИЛОЖЕНИЕ К



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



УКРАЇНА

(19) UA

(11) 1113 (13) U

(51) 7 B03C1/02

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ
І НАУКИ УКРАЇНИДЕРЖАВНИЙ ДЕПАРТАМЕНТ
ІНТЕЛЕКТУАЛЬНОЇ
ВЛАСНОСТІ

ОПИС

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 1113 (13) U

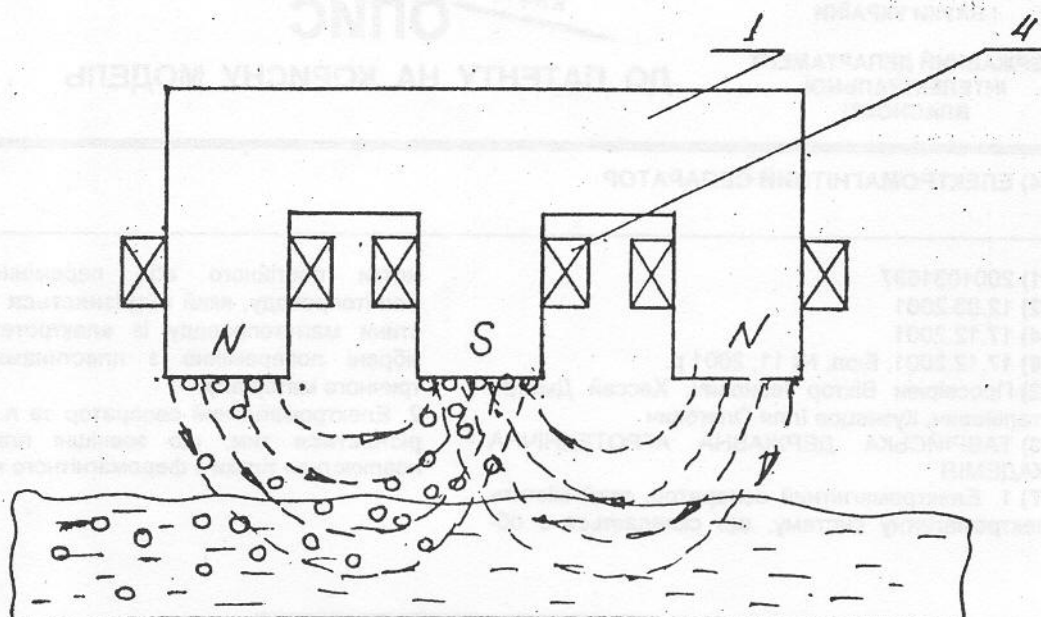


Fig. 1

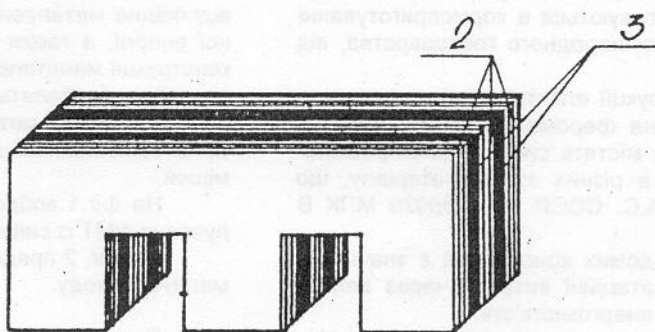


Fig. 2

Тираж 50 экз.

Відкрите акціонерне товариство «Патент»

Україна, 88000, м. Ужгород, вул. Гагаріна, 101

(03122) 3 - 72 - 89 (03122) 2 - 57 - 03



УКРАЇНА

(11) 48528 A

(19) (UA)

(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



УКРАЇНА

(19) UA (11) 48528 (13) A

(51) 6 B03C1/02

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ
І НАУКИ УКРАЇНИДЕРЖАВНИЙ ДЕПАРТАМЕНТ
ІНТЕЛЕКТУАЛЬНОЇ
ВЛАСНОСТІОПИС
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-
nerації фільтр о елемента, внаслідок чого фільт-
роелемент засмічується і потребує зупинки для
регенерации.

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
потрапляє 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 фор-
му зірочок зі скошеними поверхнями й електрич-
них обмоток, установлених на обертовому 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 2002 р.

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.

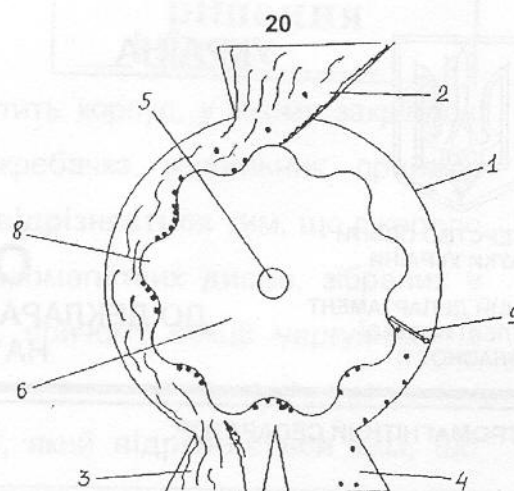
На фіг 1 зображено схему вилучення феромагнітних домішок із сипучих тонко подрібнених матеріалів.

На фіг 2 зображено джерело магнітного поля сепаратора.

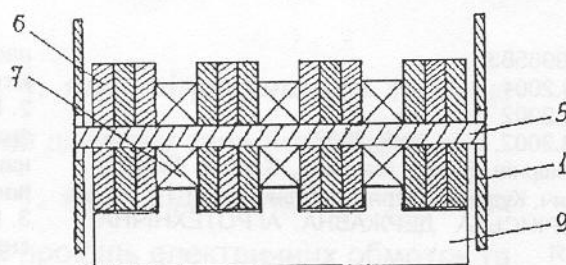
На фіг 3 зображено конструкцію скребка для очищення електромагнітної системи сепаратора.

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.

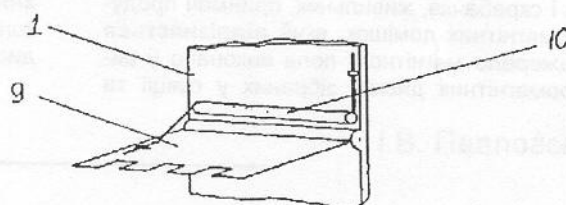
Пристрій працює таким чином. Сипучий тонко подрібнений матеріал надходить у живильник 2, звідкіль потрапляє на електромагнітну систему, що складається з вала 5, секцій дисків 6 і електричних обмоток 7. Під дією зовнішнього приводу, вал 5 приводиться в рух і сипучий юнко подрібнений матеріал потрапляє 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.



Фиг. 1



Фиг. 2



Фиг. 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.

