

Харьковский национальный автомобильно-дорожный университет

На правах рукописи

Гулевский Вадим Борисович

УДК 629.33.02.004.67:621.895

**ПОВЫШЕНИЕ ЭФФЕКТИВНОСТИ АБРАЗИВНОЙ
ОБРАБОТКИ ВОССТАНАВЛИВАЕМЫХ ДЕТАЛЕЙ
АВТОМОБИЛЕЙ СОВЕРШЕНСТВОВАНИЕМ
ОЧИСТКИ СМАЗОЧНО-ОХЛАЖДАЮЩИХ ЖИДКО-
СТЕЙ**

Специальность 05.22.20 – Эксплуатация и ремонт средств транспорта

Диссертация
на соискание ученой степени
кандидата технических наук

Научный руководитель:
Савченков
Борис Васильевич
кандидат технических наук,
доцент

Харьков – 2009

СОДЕРЖАНИЕ

	стр.
ВВЕДЕНИЕ	5
РАЗДЕЛ 1. ОБЗОР ЛИТЕРАТУРЫ И ВЫБОР НАПРАВЛЕНИЙ ИССЛЕДОВАНИЙ	11
1.1. Особенности механической обработки, как способа ремонта деталей автомобилей	11
1.2. Назначение смазочно-охлаждающих жидкостей	14
1.2.1. Требования к СОЖ и изменение их физико-химических свойств в процессе эксплуатации	18
1.2.2. Источники загрязнения СОЖ и способы их очистки	20
1.2.3. Классификация устройств и систем извлечения примесей из СОЖ	23
1.2.4. Анализ систем очистки СОЖ в технологических процессах ремонта деталей средств транспорта	27
Выводы по разделу	30
РАЗДЕЛ 2. ПОВЫШЕНИЕ КАЧЕСТВА АБРАЗИВНОЙ ОБРАБОТКИ ВОССТАНАВЛИВАЕМЫХ ДЕТАЛЕЙ	32
2.1. Анализ причин отказов и малого ресурса восстанавливаемых деталей двигателей автомобилей	32
2.2. Влияние условий абразивной обработки на стабильность процесса ремонта деталей автомобилей	36
2.3. Зависимость качества абразивной обработки деталей от наличия СОЖ при шлифовании	40
2.4. Влияние режимов шлифования на загрязненность СОЖ	46

2.5. Прогнозирование повышения качества восстанавливаемых деталей при абразивной обработке	55
Выводы по разделу	57
РАЗДЕЛ 3. МАТЕМАТИЧЕСКИЕ МОДЕЛИ ДИНАМИКИ ЧАСТИЦ В МАГНИТНЫХ ОТСТОЙНИКАХ	59
3.1. Постановка динамической задачи расчета движения извлекаемых частиц	59
3.2. Теоретические основы теории взаимодействия частиц с магнит- ным полем	61
3.3 Методика расчета магнитных отстойников	66
3.3.1. Определение показателя чистоты СОЖ	66
3.3.2. Определение проектных размеров магнитопровода и обмоточ- ных данных электромагнита для магнитного отстойника	72
3.3.3. Распределение напряженности магнитного поля в открытых многополюсных системах	76
3.3.4. Математическая модель движения частиц в магнитном поле отстойников	80
3.4. Рекомендации по разработке новых и совершенствованию суще- ствующих магнитных отстойников для извлечения механических при- месей из СОЖ	85
Выводы по разделу	88
РАЗДЕЛ 4. РАЗРАБОТКА И ИССЛЕДОВАНИЯ ВЫСОКОЭФФЕК- ТИВНЫХ МАГНИТНЫХ ОТСТОЙНИКОВ ДЛЯ ОЧИСТКИ СОЖ ПРИ АБРАЗИВНОЙ ОБРАБОТКЕ ВОССТАНАВЛИВАЕМЫХ ДЕТАЛЕЙ	90
4.1. Экспериментальное обоснование динамики поведения частиц в области магнитного поля отстойника	90

	4
4.2. Обоснование формы магнитного отстойника	93
4.3. Обоснование формы магнитной системы отстойника	96
4.4. Разработка опытно – промышленной конструкции магнитного отстойника	98
4.5. Экспериментальное обоснование коагуляции части в области магнитного поля	101
4.6. Опытнo - промышленные испытания эффективности абразивной обработки восстанавливаемых деталей автомобилей с использованием очистки СОЖ в магнитном отстойнике	104
4.7. Статистическая обработка экспериментальных данных	113
Выводы по разделу	124
РАЗДЕЛ 5. НАУЧНО ПРАКТИЧЕСКАЯ ЗНАЧИМОСТЬ И ТЕХНИКО-ЭКОНОМИЧЕСКАЯ ОЦЕНКА РЕЗУЛЬТАТОВ ИССЛЕДОВАНИЙ	125
5.1. Разработка энергосберегающей системы извлечения магнитных частиц их СОЖ при абразивной обработке деталей средств транспорта	125
5.2. Расчет экономической эффективности совершенствования очистки СОЖ	127
Выводы по разделу	133
ВЫВОДЫ	135
ПРИЛОЖЕНИЕ А	137
СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННОЙ ЛИТЕРАТУРЫ	150

ВЕДЕНИЕ

В Украине сложилась ситуация, когда 75-80 % автотранспортных средств, находящихся в эксплуатации выработали свой ресурс. Для обновления автопарка требуются значительные капитальные вложения. Недостаточная обеспеченность ремонтного производства в запасных частях – основная причина снижения технической готовности автомобильного транспорта. Дальнейшее расширение производства новых запасных частей влечет за собой рост материальных и трудовых расходов.

Альтернативой наращиванию объемов производства запасных частей является вторичное использование изношенных деталей, восстановленных в процессе ремонта автомобилей и агрегатов. С позиций материалоемкости восстановления машин экономическая целесообразность ремонта предопределена возможностью повторного использования после восстановления большинства деталей как пригодных, так и предельно изношенных. Это дает возможность производить ремонт в более короткие сроки и с меньшими расходами металла и других материалов в сравнении с расходами при изготовлении новых автомобилей.

Качество поверхности и точность механической обработки определяют уровень восстановленных деталей, а, следовательно, и отремонтированных транспортных средств в целом.

В ремонтном производстве встречаются практически все виды механической обработки резанием (шлифование, хонингование, полирование и т. д.), применяемые на машиностроительных заводах [1,2]. Эффективность процесса механической обработки деталей, интенсивность изнашивания режущего инструмента, качество обработанной поверхности и другие характеристики, сопровождающие процесс резания, зависят от свойств внешней среды, в которой происходит резание. В качестве внешней среды, благотворно влияющей на процесс резания и изнашивания режущего инструмента, используют различные смазочно-охлаждающие жидкости (СОЖ). Роль смазоч-

но-охлаждающих жидкостей в современных процессах восстановления деталей средств транспорта столь велика, что их называют «жидким инструментом». СОЖ предназначена для смазки поверхности трения, охлаждения режущего инструмента и обрабатываемой детали, облегчения процессов деформирования металла, своевременного удаления из зоны обработки стружки и продуктов износа инструментов, а также для кратковременной защиты изделий и оборудования от коррозии [3,4]. При этом одним из главных показателей качества самой СОЖ является степень чистоты по отношению к разного рода примесям. Поэтому возникает острая необходимость осуществления качественной очистки или доочистки СОЖ, в частности на различных этапах ремонта деталей средств транспорта. Это в достаточной степени позволит повысить эффективность абразивной обработки восстанавливаемых деталей транспортной техники.

Решение этого важного вопроса для транспортной техники зависит от внедрения в ремонтное производство при абразивной обработке деталей прогрессивных средств очистки СОЖ.

Актуальность темы

Известно, что большие трудности возникают при абразивной обработке деталей, восстановленных наплавкой, металлизацией напылением и другими методами наращивания металла. Эти трудности обусловлены неравномерностью припусков, нестабильностью свойств нанесенного металла и другими факторами, ухудшающими условия работы абразивного инструмента, при этом одной из основных причин, влияющих на качество восстановленных поверхностей детали является уровень загрязнения СОЖ механическими примесями. Твердые частицы, попадая в зону контакта инструмента и детали, вызывают повышенный износ рабочих поверхностей инструмента, ухудшают микрогеометрию обработанной поверхности детали, вызывают затупление абразивных зерен и засаливание абразивного круга, вследствие чего, значительно сужается область устойчивости процесса обработки, возрастают параметры шероховатости.

Поскольку подавляющая часть механических примесей, как правило, обладает магнитными свойствами, создается реальная перспектива применения методов и устройств для магнитного осаждения этих частиц.

В настоящее время, большая часть оборудования для абразивной обработки при ремонте деталей средств транспорта укомплектована магнитными очистителями СОЖ, снабженными постоянными магнитами или электромагнитами, которые, как показала практика, работают неэффективно, так как требуют дополнительных затрат в процессе очистки СОЖ при обработке деталей, а так же конструктивно несовершенны.

Таким образом, повышения эффективности абразивной обработки восстановленных деталей вследствие, усовершенствования технологий и технических средств очистки СОЖ от механических примесей становится весьма актуальной задачей, так как является весомым резервом совершенствования технологических процессов ремонта деталей для увеличения надежности восстановленных узлов и конструкций при эксплуатации средств транспорта. Научно обоснованное решение этих вопросов невозможно без анализа сложных систем и процессов взаимодействия механических примесей с магнитным полем и привлечения современных методов исследования: физического и математического моделирования.

Связь работы с научными программами, планами, темами.

Работа выполнялась в рамках Государственной программы развития машиностроения на 2006-2011 г.г. “Розробка та створення умов для широкого впровадження високих ресурсозберігаючих технологій ” № 516 от 18.04. 2006 г., а также целевой комплексной программы “Розробка наукових основ систем технології і технічних засобів для забезпечення продовольчої безпеки південного регіону України” № 0102U000685.

Цель и задачи исследования.

Целью работы является повышение эффективности абразивной обработки восстанавливаемых деталей средств транспорта совершенствованием очистки СОЖ для улучшения качества их ремонта.

Для достижения данной цели сформулированы и решались следующие задачи:

- выполнить анализ влияния загрязненности СОЖ на качество восстановленных деталей транспортных средств, а также исследовать существующие технологии и технические средства очистки СОЖ при ремонте деталей средств транспорта и обосновать пути их усовершенствования;
- исследовать процесс извлечения частиц в магнитных отстойниках и разработать метод расчета параметров характеристик магнитных отстойников для повышения эффективности очистки СОЖ;
- исследовать влияние абразивной обработки восстанавливаемых деталей с использованием высокоочищенной СОЖ, на качество их ремонта и провести опытно - промышленные испытания с целью подтверждения эффективности абразивной обработки восстанавливаемых деталей с использованием высокоочищенной СОЖ в магнитном отстойнике.

Объект исследований – технологический процесс восстановления деталей автомобилей методом абразивной обработки.

Предмет исследований – повышение эффективности абразивной обработки восстанавливаемых деталей за счет очистки СОЖ.

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 и измерений с использованием ПЭВМ. Для обработки результатов наблюдений использовалось планирование многофакторного эксперимента.

Научная новизна полученных результатов состоит в том, что:

- установлено влияния эффективности абразивной обработки с использованием очищенной СОЖ (до 90-95 %) на повышение качества восстанавливаемых деталей автомобилей;

- усовершенствован существующий метод расчета магнитных отстойников для эффективной очистки СОЖ от механических примесей, с учетом особенностей коагуляции частиц в магнитном поле;

- впервые установлена комплексная взаимосвязь показателей чистоты СОЖ, энергетических параметров (силы тока I , напряжения U , мощности P) магнитной системы и входной концентрации $\delta_{вх}$ механических примесей, которые позволяют усовершенствовать конструкции магнитных отстойников для получения более высокой степени очистки СОЖ при восстановлении деталей автомобилей;

- проведенные теоретические и экспериментальные исследования взаимодействия магнитного поля с механическими примесями в СОЖ, в результате которых была получена зависимость, устанавливающая оптимальные условия проектирования магнитных отстойников.

Практическое значение полученных результатов.

- усовершенствована конструкция магнитного отстойника, позволяющая увеличить качество очистки СОЖ от механических примесей на 12-15 % в сравнении с существующими промышленными очистителями, снизить энергозатраты на 27 % и в 1,2-1,5 раза улучшить эффективность ремонтного производства;

- изготовлен опытный образец магнитного отстойника, который прошел промышленные испытания на ремонтном производстве деталей транспортной техники “Тракторзапчасть” (г. Ромны, Сумская область). Конструкторская документация передана указанному выше предприятию;

- проведено промышленное апробирование разработанной технологии абразивной обработки восстановленных деталей на ремонтном предприятии средств транспорта “Руслан” (г. Мелитополь, Запорожская область).

Личный вклад соискателя. В публикациях автору принадлежат: анализ загрязнений смазочно-охлаждающих жидкостей при восстановлении деталей транспортной техники [6]; проведение теоретических и экспериментальных исследований влияния чистоты СОЖ на качество поверхности дета-

лей при ремонте транспортной техники [7]; разработка математических моделей извлечения частиц механических примесей из СОЖ и численном их исследовании на ПЭВМ [8]; исследование процесса коагуляции частиц механических примесей в электрическом поле [9]; создание усовершенствованной конструкции магнитного отстойника [10,11]; совершенствование электротехнологических систем извлечения ферромагнитных тел из дисперсных сред [12].

Апробация результатов диссертации.

Основные положения работы обсуждались на научных конференциях и семинарах:

- на научно-практических конференциях Таврического государственного агротехнологического университета (2004-2009 г.);
- на научно-технической и научно-методической сессиях Харьковского национального автомобильно-дорожного университета (2008, 2009 г.);
- на международной научно-технической конференции аспирантов и студентов (Донецкий национальный технический университет, 2008 г.);
- на научном семинаре кафедры “Производство, ремонт и материаловедение” Национального транспортного университета (2009 г.)

Публикации.

Основные положения диссертационной работы, изложены в 12 научных трудах, из их 6 трудов опубликовано в специализированных изданиях, утвержденных ВАК Украины и 6 в декларативных патентах Украины.

Структура и объем диссертации.

Диссертационная работа состоит из введения, 5 разделов, выводов, списка использованной литературы и приложений. Полный объем диссертации – 166 страниц печатного текста (в т.ч. 70 рис., 8 таблиц). Список использованной литературы содержит 179 библиографических наименований.

РАЗДЕЛ 1

ОБЗОР ЛИТЕРАТУРЫ И ВЫБОР НАПРАВЛЕНИЙ ИССЛЕДОВАНИЙ

1.1. Особенности механической обработки, как способа ремонта деталей автомобилей

Из ремонтной практики известно, что до 75 % деталей, забракованных при первом капитальном ремонте автомобилей, восстанавливаемые или могут использоваться вообще без восстановления. Большая часть деталей в результате износа при эксплуатации теряют не больше 1-2 % исходной массы, при этом пригодность деталей практически сохраняется. Надежность и долговечность отремонтированных автомобилей после проведения капитального ремонта позволяют судить о качестве восстановленных различными способами деталей. Долговечность деталей автомобилей, восстановленных теми или иными способами зависит от их эксплуатационных свойств [13-16].

Способы, используемые в технологическом процессе ремонта деталей, имеют целью получить поверхности с заранее заданными свойствами. В авторемонтном производстве используют методы восстановления деталей металлизацией, наплавкой и сваркой, механической обработкой и т. д. [13,17]. Наряду с этим колебания припусков на механическую обработку одной и той же детали, восстановленной различными способами, достигают значительных величин. Одним из основных факторов, которые влияют на величину припуска - это дефектный слой, который зависит от способов и режимов восстановления деталей средств транспорта.

Придание восстановленной детали номинального размера и правильной геометрической формы производится механической обработкой резанием: точением, шлифованием и т.д. [18,19].

В этой связи возрастающая роль финишных процессов механической обработки резанием обостряет технологическую проблему, связанную с необходимостью повышения требований к точности линейных и угловых размеров и формы поверхностей, качеству поверхностных слоев рабочих элементов деталей машин.

При проектировании технологического процесса механической обработки резанием, целесообразности применения его в данных производственных условиях важно знать его возможности в следующих трех направлениях:

- достигаемые параметры точности, на каких этапах технологического процесса он может быть использован;
- время обработки поверхности (производительность);
- максимально допускаемый припуск, обеспечиваемый методом ремонта детали.

Заточенный резец может снимать припуск в пределах сотой доли миллиметра, однако погрешности технологической наследственности и неравномерность распределения припусков на обработку вызывают некруглость поверхности детали. В связи с этим обработка восстановленной поверхности детали резцами ведется с прерывистым сечением стружки, ударами, резанием по корке наплавленных слоев, что ухудшает условия работы режущего инструмента и жесткости системы станок - деталь – инструмент и результаты обработки.

Развитие механической обработки резанием восстановленных деталей автомобилей в последние годы, вызвало значительное расширение области применения абразивной обработки, наиболее распространенным видом, которой является шлифование. В разработку основ механики процесса резания большой вклад внесли русские и советские учёные: И. А. Тиме, К. А. Зворыкин, А. А. Брикс, А. В. Гадолин, Я. Г. Усачёв и др. [20]. При абразивной обработке деталей шлифовальными кругами наиболее эффективно и экономично обеспечивается заданная точность деталей; расширяется номенклатура деталей машин, изготавливаемых из труднообрабатываемых материа-

лов; обеспечивается возможность обработки точных деталей с очень малыми припусками [21,22].

Широкое применение различных методов шлифования обусловлено не только их высокой точностью, а также возможностью обработки поверхностей с твердостью более 40 HRC с точностью обработки в пределах 5-6 качества. Актуальна задача оптимизации условий и режимов абразивной обработки. С.Н. Корчак [23] дал комплексную оценку производительности шлифования в зависимости от обрабатываемости материала детали и износа зерен круга. Рациональный цикл шлифования определяют с учетом конкретных требований к операции [24]. При этом следует учитывать, что величина припуска, снимаемого с малыми скоростями врезных подач должна превышать глубину дефектного слоя, образовавшегося при предварительном (черновом) шлифовании с большими подачами [25].

В то же время следует отметить, что в современном авторемонтном производстве требования точности обработки поверхностей восстановленных деталей во многих случаях не могут быть обеспечены существующим универсальным металлорежущим оборудованием, особенно связанных с финишными операциями. Общеизвестно, что из-за относительно быстрой потери режущей способности абразивных зерен абразивного круга шлифование сопряжено с опасностью возникновения в зоне контакта инструмента с деталью повышенных мгновенных контактных температур, способных вызвать структурно-фазовые превращения в поверхностном слое детали. Последнее, как правило, сопровождается образованием в нем прижогов и нежелательных растягивающих технологических остаточных напряжений и даже появлением микротрещин [26], вследствие чего, частой причиной отказов работы двигателей транспортных средств являются дефекты механической обработки восстановленных деталей.

Одним из важнейших факторов, обеспечивающих производительность шлифования и заданные характеристики качества восстановленных деталей автомобилей, является рациональное применение смазочно-охлаждающих

жидкостей, которые коренным образом изменяют характер протекания контактных взаимодействий при шлифовании, оказывают позитивное влияние на стойкость шлифовальных кругов, формирование поверхностных слоев материала ремонтируемых деталей.

Таким образом, проблема увеличения долговечности работы отремонтированных автомобилей и агрегатов предъявляет повышенные требования к качеству поверхностей восстановленных деталей, при этом интенсификация технологических процессов механической обработки деталей, внедрение высокопроизводительного оборудования, автоматизированных процессов приводят к тому, что абразивная обработка механической обработки деталей автомобилей становится невозможной без применения эффективных смазочно-охлаждающих жидкостей. Применение их является большим и реальным резервом повышения производительности механической обработки и качества восстановленной поверхности детали, что приведет к увеличению долговечности работы машины в целом [27].

1.2. Назначение смазочно-охлаждающих жидкостей

Использование СОЖ снижает количество замен режущего инструмента, увеличивает время работы шлифовальных кругов между правками, повышает чистоту инструмента и производительность обработки. Применяя новые прогрессивные составы СОЖ и современные способы их подачи, можно существенно уменьшить высоту микронеровностей шлифованной поверхности вследствие улучшения условий взаимодействия зерен шлифовального круга с деталью, снижения контактной температуры в зоне шлифования, устранения вибраций и др.

Применению СОЖ уделяют большое внимание, когда создаются вновь или совершенствуются существующие методы механической обработки в целях интенсификации процессов резания. В этих случаях СОЖ, с одной стороны, играет роль фактора снижающего величину силовых и тепловых

нагрузок на инструмент и обрабатываемую деталь, а с другой - роль средства, позволяющего своевременно удалять из зоны обработки образующуюся стружку и продукты износа инструмента. СОЖ является органическим элементом комплекса средств, обеспечивающего эффективную эксплуатацию оборудования и освоения новых прогрессивных методов и технологических процессов восстановления деталей.

Смазочное действие СОЖ проявляется в образовании на поверхностях контакта обрабатываемой детали и инструмента тончайших различных по своей природе плёнок, уменьшающих силы трения и интенсивность изнашивания поверхностей трения. Уменьшению сил трения под действием смазочной среды способствуют образование граничных фаз, пластифицирующее действие СОЖ на поверхностные слои контактирующих материалов и механическое разделение поверхностей трения.

Охлаждающее действие СОЖ проявляется двояко и заключается не только в конвективном отведении от рабочих поверхностей инструмента образовавшейся и выделившейся теплоты, но и в устранении или ослаблении причин выделения теплоты благодаря смазочному действию и уменьшению сил трения.

В процессе обработки восстанавливаемой детали, чем меньше частицы шлама, тем легче они проникают в неровности инструмента, деталей, элементов станка и приспособления и тем прочнее удерживаются на поверхности твёрдого тела, ухудшая технологические показатели процесса механической обработки и увеличивая его себестоимость, так как обрабатываемые детали приходится подвергать дополнительной технологической операции – мойке. Моющее действие СОЖ заключается в обеспечении непрерывной эвакуации из зоны обработки, с рабочей поверхности режущего инструмента, с поверхностей станка, приспособления, обрабатываемой детали мелкой стружки, продуктов износа инструмента, карбидов, выломанных из структуры металла детали и инструмента, и др., которые удерживаются на поверхно-

стях твердых тел электростатическими, ван-дер-ваальсовыми и механическими силами.

Эффективность действия смазочно-охлаждающих жидкостей зависит не только от её химического состава, но и от метода подачи в зону резания [28-30]. Наиболее часто СОЖ подают в зону резания в виде свободно падающей струи. Кроме того, в некоторых случаях используют высоконапорное струйное охлаждение, при котором СОЖ подают под давлением от 2 до 3 МПа на заднюю поверхность режущей части инструмента тонкой струёй через сопло диаметром от 0,3 до 0,5 мм (рис 1.1). Сравнительно часто используют метод охлаждения и смазывания зоны резания распылёнными жидкостями; при этом в зону резания подаётся струя воздушно-жидкостной смеси, полученной в специальном распылительном устройстве.



Рис. 1.1. Подача СОЖ в зону резания.

Высокие моющие свойства СОЖ особенно важны при абразивной обработке, поскольку она в большинстве случаев используется для финишной обработки. Условия ее реализации и режимы выбирают так, чтобы они не приводили к интенсивному изнашиванию шлифовального круга и последний работал в режиме преимущественного затупления или частичного самозатачивания, когда обеспечивается его незначительный размерный износ. Однако

и при таком режиме происходит засаливание рабочей поверхности шлифовального круга, вследствие налипания частиц шлама, что, в свою очередь, оказывает влияние на производительность обработки и качественные характеристики шлифованных деталей [31].

При правильном подборе, а также при оптимальном способе подачи СОЖ, на мелких частицах стружки, или продуктах изнашивания инструмента образуются адсорбционные плёнки, которые обеспечивают отделение этих частиц от твёрдой поверхности инструмента или детали и легко уносятся струёй СОЖ, тем самым увеличивается стойкость режущего инструмента, повышается допускаемая скорость резания, улучшается качество поверхностного слоя и снижается шероховатость обработанных поверхностей, в особенности деталей из вязких жаропрочных и тугоплавких труднообрабатываемых сталей и сплавов [32-34]. В зависимости от условий резания интенсивность изнашивания абразивного режущего инструмента зависит как от смазочных, так и от охлаждающих действий СОЖ. В последнее время большинство исследователей полагают, что смазочное действие СОЖ является определяющим во всём возможном диапазоне скоростей и температур резания.

СОЖ может успешно использоваться как при круглом внутреннем, так и при наружном шлифовании. Например, при шлифовании отверстий колец подшипников форсирование режимов обработки за счет использования СОЖ позволяет увеличить производительность труда в 1,5 раза [35]. Тем самым открывается возможность совершенствования абразивной обработки деталей транспортных средств, эффективной эксплуатации оборудования и как, следствие, повышение показателя надежности отремонтированных агрегатов и узлов средств транспорта.

1.2.1. Требования к СОЖ и изменение их физико-химических свойств в процессе эксплуатации

При ремонте деталей транспортных средств используется более 20 различных видов СОЖ массового и специального назначения, отвечающих современным требованиям и составляющих основу базового ассортимента [36-40].

По составу и виду основы их подразделяют на три группы: масляные жидкости, водные эмульсии минеральных масел и синтетические жидкости. Наиболее широко применяют водные жидкости - эмульсии типа "масло в воде" из эмульсолов и паст (преимущественно из эмульсолов), водные растворы растворимых в воде масел, активированные присадки без них, растворы мыл и электролитов и весьма ограниченно - щелочные суспензии глин, и других наполнителей.

Механическую обработку резанием деталей осуществляют с применением разнообразных СОЖ, преимущественно водных и масляных, активированных в различной степени химически и поверхностно-активными веществами и присадками или их смесью с добавкой твердых смазочных веществ и без них (жиры, синтетические эфиры, соединения, содержащие серу, хлор, фосфор и др.).

Эффективность применения СОЖ при операциях абразивной обработки восстанавливаемых деталей зависит от многих факторов: физико-химических свойств и уровня обрабатываемости абразивными инструментами материала детали; ее размеров и формы; требуемых размеров и качества детали, в том числе качества восстановленного поверхностного слоя материала; конструктивных параметров и состояния технологического оборудования (станка) и технологической оснастки; типоразмера и характеристики абразивного инструмента; состава и физико-химических свойств СОЖ, технологии и техники его применения и др. Следует учитывать также универсальность СОЖ (возможность его рационального применения на различных опе-

рациях обработки деталей резанием), его эксплуатационные и санитарно-гигиенические свойства, экономические, экологические и другие показатели.

При введении в зону обработки СОЖ производится расклинивающее действие, облегчающее работу диспергирования при резании и трении, вызывается эффект адсорбционного пластифицирования (облегчения пластических деформаций), адсорбционного понижения прочности (возникновения хрупкого разрушения при малых интенсивностях напряженного состояния, вплоть до самопроизвольного диспергирования) и упрочняются поверхности слоев металла. При оптимальном сочетании смазочных и охлаждающих свойств СОЖ уменьшается термоусталостное изнашивание абразивных зерен, создается возможность избежать дефектов поверхностных слоев деталей из коррозионно-стойких сталей. В связи с высоким уровнем вибраций технологической системы и интенсивным нарастанием их во времени СОЖ должны обладать хорошими демпфирующими свойствами (высокой динамической вязкостью). Таким образом, СОЖ должны обладать:

- оптимальными вязкостно-температурными свойствами для возможности работы при низких температурах окружающей среды, для снижения износа трущихся поверхностей;
- хорошими смазывающими свойствами для обеспечения надёжной смазки на всех режимах работы объекта;
- достаточной антиокислительной стойкостью, препятствующей значительному изменению химического состава СОЖ в процессе её работы;
- хорошими моющими свойствами, в целях снижения склонности к образованию отложений на нагретых металлических поверхностях и в системе смазки;
- высокими противокоррозионными свойствами;
- малой пенообразующей способностью и эмульгированностью;
- биостойкостью.

Большое значение имеет чистота СОЖ при повторном использовании. В реальных условиях работы СОЖ содержат различные загрязнения, которые

определенным образом влияют на ее физико-химические свойства. Трудность обеспечения чистоты рабочих жидкостей объясняется отсутствием научного обоснования применения систем очистки при абразивной обработке восстанавливаемых деталей автомобилей.

1.2.2. Источники загрязнения СОЖ и способы их очистки

Значительная часть энергозатрат в процессе ремонта деталей транспортных средств связана с необходимостью обеспечить нужное качество смазочных, технологических и гидравлических жидкостей. Одним из источников снижения этих затрат является очистка и регенерация СОЖ, которая проводится в процессе эксплуатации СОЖ, пока ресурс работоспособности ее окончательно не исчерпан.

Загрязнения СОЖ может происходить во время поставки, хранения, заправки их в гидросистему, эксплуатации, а также и за счет распада самой жидкости.

Источниками загрязнения СОЖ могут быть: неабразивный осадок - он закупоривает щели фильтров, кислоты, приводящие к коррозии поверхности гидрооборудования, шлаки засоряют СОЖ, вода эмульсирует СОЖ, металлические частицы являются катализаторами для разложения и окисления; песок образует абразивную среду.

Выбор технологической схемы очистки и регенерации СОЖ - одна из сложных и ответственных операций. При этом следует учитывать все физико-химические и микробиологические особенности водных эмульсий, а также правильно выбрать дальнейшее направление использования СОЖ после очистки или регенерации, поскольку это определяет экономические и материальные затраты на определённых операциях.

Стабильность чистоты СОЖ зависит от надежности работы очистителей, производящих очистку жидкости от шлифовального шлама, который неизбежно загрязняет её при эксплуатации технологической системы ремон-

та деталей транспортных средств. В настоящее время применяются способы очистки СОЖ (рис.1.2), стоимость которых и затраты на обслуживание непрерывно растут по мере усложнения станочного оборудования, появления новых прогрессивных технологий, увеличения требований к качеству выпускаемой продукции. При этом повышение стоимости систем очистки не пропорционально увеличению качества очистки СОЖ [41-46].

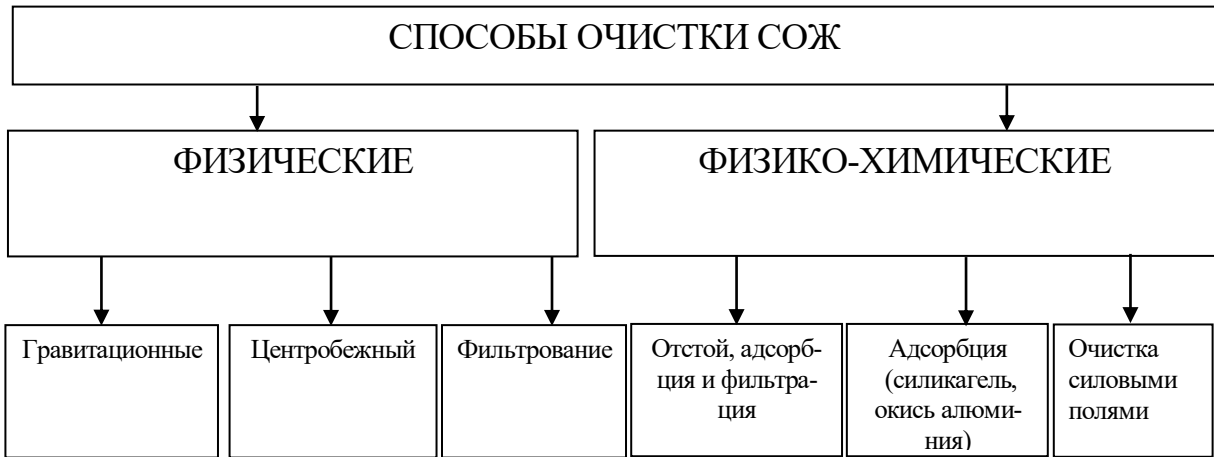


Рис. 1.2. Классификация способов очистки СОЖ.

Большое значение для выполнения постоянно повышающихся требований к качеству восстановленных деталей имеют процессы очистки СОЖ от механических примесей (мелкодисперсной стружки, продуктов износа), отходов шлифования (частиц абразива и связки) с применением устройств физического способа очистки (рис.1.3) [47,48].

ПРИНЦИПИАЛЬНЫЕ СХЕМЫ УСТРОЙСТВ ФИЗИЧЕСКОГО СПОСОБА ОЧИСТКИ			
ГРАВИТАЦИОННЫЙ СОЖ на очистку очищенная СОЖ шлам	ИНЕРЦИОННЫЙ СОЖ на очистку очищенная СОЖ шлам	ФИЛЬТРОВАНИЕ СОЖ на очистку шлам очищенная СОЖ	КОМБИНИРОВАННЫЕ УСТРОЙСТВА ОЧИСТКИ В СИЛОВЫХ ПОЛЯХ - магнитные очистители - электростатические очистители - ультразвуковые очистители
Качество очистки (d_q - диаметр частиц)			
$d_q = 25 - 50 \text{ мкм}$	$d_q = 10 - 25 \text{ мкм}$	$d_q = 5 - 10 \text{ мкм}$	$d_q = 0,5 - 5 \text{ мкм}$

Рис. 1.3. Принципиальные схемы устройств физического способа очистки СОЖ.

Механические загрязнения в отработанных СОЖ имеют различную природу. Поэтому становится важным изучение их природы, которая влияет на способы их извлечения из отработанных технических жидкостей.

Проведенными ранее исследованиями установлено, что механические загрязнения при обработке деталей резанием состоят преимущественно из мелкой металлической стружки размером (5-150) мкм, частиц абразива и связки круга размерами (20-250) мкм, причем на долю металлических частиц приходится 80-98 % от всей массы шлама [49,50], что позволяет рекомендовать магнитные очистители СОЖ (рис.1.4).



Рис. 1.4. Магнитные устройства очистки СОЖ.

Использование в регенерационных технологических схемах магнитного поля основано на его взаимодействии с частицами, обладающими магнитными свойствами. Это подтверждено в целом ряде работ [51-56]. Так в работе [56] показано, что загрязнения отработанных СОЖ содержат значительные количества железа, никеля, кобальта и их окислов с выраженным ферромагнетизмом; определена магнитная восприимчивость загрязнений в зависимости от напряжённости магнитного поля, крупности частиц и содержания ферромагнетика. Исследования по применению магнитных полей для очистки жидкости от магнитных частиц были проведены Шараповым К.А., Сандуляком А.В, Просвирниным В.И., Загирняком М.В. и др. Ими установлено, что при наложении магнитного поля скорость осаждения частиц возрастает в несколько раз [57-59].

Основное преимущество применения магнитной очистки состоит в отказе от использования громоздких сооружений для обеспечения чистоты СОЖ.

Поэтому повышение надежности и долговечности транспортных средств, агрегатов и узлов требует качественного восстановления деталей с применением наиболее рациональных технологий восстановления деталей и усовершенствованием магнитной очистки смазочно-охлаждающих жидкостей.

1.2.3. Классификация устройств и систем извлечения примесей из СОЖ

Для выпускаемых в Украине и за рубежом магнитных очистителей характерно многообразие конструктивных исполнений и типоразмерных модификаций, что вызвано стремлением специалистов-конструкторов учесть многообразие эксплуатационных факторов: производительность, размер трубопровода, плотность и температуру жидкого материала, давление, место монтажа, род источника энергии (постоянные магниты или постоянный ток). Эти же факторы служат критериями при выборе того или иного устройства.

Магнитные фильтры. В фильтрах очищаемая жидкость проходит через рабочую область магнитного поля, заполненную фильтрующим магнитным наполнителем (например, в виде сеток или шаров), на котором и осаждаются частицы [60].

Независимо от способа создания магнитного поля в фильтрах в общем случае возможно использование насадок двух типов: в виде системы стальных решеток (сеток) [61,62] и в виде системы стальных шаров [63].

Фильтры с электромагнитным возбуждением рекомендуется применять в более сложных условиях, когда в рабочих зонах необходимо создавать магнитные поля большой напряженности. В случае их использования, требуется надежный источник постоянного тока. Однако возможность регулирования

рабочей напряженности магнитного поля применительно к условиям эксплуатации, а также полного отключения магнитного поля простым выключением электроэнергии, обуславливает легкость очистки электромагнитных фильтров, что является важным их преимуществом по сравнению с аналогичными фильтрами на постоянных магнитах.

Магнитные фильтры отделяют стальные, чугунные частицы размерами от 0,002 до 0,025 мм и разделяют смеси состоящие из частиц магнитных и немагнитных материалов. Степень очистки с использованием магнитного поля более 70 %. В зарубежной практике для очистки смазочных масел и СОЖ получили распространение магнитные фильтры в комбинации с фильтрами грубой и тонкой очистки [64,65].

Недостатком фильтров является малая грязеемкость, увеличение перепада давления по мере забивания отверстий или пор в перегородке, наличие байпасного клапана, перепускающего без очистки часть жидкости из линии загрязненной жидкости в линию очищенной жидкости, ограничения по степени загрязненности, подаваемой на очистку жидкостей, большие габаритные размеры, увеличивающиеся по мере увеличения пропускной способности или тонкости очистки, и др. Все это приводит к необходимости периодической замены или регенерации фильтрующего элемента, встройки сигнальных устройств и т.п. Следует попутно отметить, что запыленность окружающей среды зачастую настолько велика, что простая замена фильтроэлементов в гидросистемах вносит загрязнений больше, чем изнашивание за все время эксплуатации.

Магнитные центрифуги и гидроциклоны. Некоторое распространение для очистки СОЖ от твердых примесей и других загрязнений получил центробежный способ очистки [66-68].

Недостатки - сложность конструкции (масса до 1500 кг), невозможность встройки непосредственно в технологический цикл, необходимость периодической разборки для очистки с последующей балансировкой, огромные энергетические затраты на очистку (установленная мощность до 3,0 кВт),

необходимость в малой скорости обтекания (до 0,01 м/с), тонкость слоя жидкости, в котором магнитное воздействие эффективно, невозможность удерживания на магните большой массы уловленных частиц, зависимость от температуры, ударов (для постоянных магнитов), разделение неоднородных жидкостей и др.

Магнитный комбинированный (магнитные сепараторы). В магнитных сепараторах процесс сепарации происходит при протекании жидкости через рабочее межполюсное пространство, и магнитные частицы удерживаются непосредственно на элементах магнитной системы. При протекании очищаемой жидкости через сепаратор той или иной конструкции находящиеся в ней магнитные частицы подвергаются силовому воздействию магнитного поля и притягиваются к активным элементам устройства.

Достоинства: сравнительно невысокая стоимость, непрерывность работы, простота обслуживания, небольшие размеры

Недостатки: главным недостатком является то, что для очистки сепаратора необходимо периодически перекрывать поток технологической жидкости и демонтировать магнитную систему. Также к недостаткам относятся значительное энергопотребление (до 4,5 кВт) и недостаточная для чистовых и отделочных операций степень очистки СОЖ (68 -75 %)[69-75].

Магнитные отстойники. Наиболее простыми устройствами для очистки СОЖ от механических примесей являются отстойники, в основе которых лежит принцип гравитации – действие на частицы только массовых сил тяжести.

Устройство и особенности отстойников описаны в работах многих учёных, в частности Г.В. Шашкина, А.С. Дахненко, А.В. Ершова [76], А. Х. Тараунеха [77], Н. В. Кравченко [78] и др. В случае, магнитных частиц, система отстойников, предлагаемая авторами, может быть усовершенствована за счет магнитного поля, вследствие чего можно сократить продолжительность отстаивания и повысить его эффективность [79].

Эффективность осаждения примесей зависит от величины поверхности осаждения, расхода, вязкости, пути перемещения жидкости, а также конструктивных особенностей. Выявлено, что скорость осаждения частиц в магнитном поле возрастает в десятки раз по сравнению с осаждением под действием сил тяжести [53, 57-59].

Применение постоянных магнитов в магнитных отстойниках обеспечивает следующее преимущества: отсутствие необходимости электроснабжения и, следовательно, внешних кабелей и дополнительного обслуживания; устойчивость к влиянию влажности, вибрации, атмосферных условий; безопасность при использовании во взрывоопасных и воспламеняющихся средах. Поэтому за рубежом подавляющее большинство устройств выпускается на постоянных магнитах [80]. Они экономичны и хорошо работают при легких и средних режимах нагрузки. От извлеченных магнитных тел такие устройства очищаются специальными скребками или путем удаления из магнитного поля элемента конструкции, на котором удерживаются эти тела.

В основе принципа магнитного отстойника лежит эффект взаимодействия частиц магнитных материалов с внешним магнитным полем. Сила взаимодействия описывается выражением [81]:

$$F_m = \mu_0 \cdot \chi \cdot V \cdot H \cdot \frac{dH}{dl}, \quad (1.1)$$

где F_m - магнитная сила, действующая на частицу, Н;

μ_0 - магнитная проницаемость среды, Гн/м;

χ - магнитная восприимчивость частицы, м³/кг;

V - объем частицы, м³;

H - напряженность магнитного поля, А/м;

$\frac{dH}{dl}$ - скорость ее изменения, А/м².

У сильномагнитных веществ намагниченность увеличивается с ростом внешнего магнитного поля и достигает величины, называемой намагниченностью насыщения, которая у железа и сталей (ферромагнетики) составляет около 2 Тл, а у оксидов железа (ферромагнетики) около 0,4 Тл. Удаление оксидов железа, как следует из выражения (1.1), является более сложным по сравнению с удалением частиц железа (стали). Удаление мелкодисперсных частиц осложнено также более сильным тормозящим влиянием окружающего их материала.

Отстойники на ферритовых постоянных магнитах создают магнитное поле напряженностью - 0,15 Тл при его градиенте - 0,02 Тл/см.

Отстойники с системами из постоянных магнитов типа Sm-Co5 характеризуются величиной напряженности магнитного поля - 0,6 Тл и градиентом магнитного поля - 0,5 Тл/см.

Отстойники с системами на постоянных магнитах из сплава Nd-Fe-B отличает напряженность поля – 0,8 Тл при градиенте магнитного поля - 0,6 Тл/см.

Отстойники на постоянных магнитах из сплава Fe-Cr-Co не изготавливают в силу низкой коэрцитивной силы данных типов магнитов.

Электромагнитные же отстойники отличает большая величина рабочей зоны и напряженности поля на поверхности (около 1,0 Тл) и невысокий градиент магнитного поля - 0,01 Тл/см.

1.2.4. Анализ систем очистки СОЖ в технологических процессах ремонта деталей средств транспорта

Правильная организация и ведение технологического процесса восстановления деталей средств транспорта, а также налаженная регенерация СОЖ позволяют сократить расход свежих СОЖ, повысить коэффициент полезного действия оборудования и механизмов, сократить энергетические расходы, снизить себестоимость ремонта, увеличить срок работы агрегатов и узлов

средств транспорта до капитального ремонта и повысить общую культуру производства.

Организация очистки СОЖ на ремонтных предприятиях может проводиться по двум основным направлениям [82]:

- централизованная очистка на крупных ремонтных заводах и ремонтных цехах. Централизованный пункт регенерации снабжается отработанными СОЖ, поступающими непосредственно от станков;
- децентрализованная (индивидуальная) регенерации, осуществляемая непосредственно на станках ремонтных предприятий.

В отношении качества СОЖ, контроля его, совершенства методов очистки централизованная система имеет явные преимущества перед децентрализованной. Однако эта система имеет и существенные недостатки - необходимость транспортирования СОЖ, загрязненных и очищенных, на значительные расстояния и самое главное, как показал опыт эксплуатации - поступление на очистку смесей разных СОЖ, а также загрязнение СОЖ сторонними примесями, например консистентными смазками, промывочными материалами и т. д., затрудняющими очистку, а иногда делающими ее невозможной на обычном, широко применяемом оборудовании даже при использовании методов глубокой очистки.

Обе эти системы очистки в настоящее время широко распространены в технологических процессах ремонта машин.

Выбор варианта организации очистки СОЖ на предприятии зависит от многих факторов, прежде всего от количества станков.

Ниже приведен анализ систем на примере ремонтного цеха предприятия ОАО "Роменский завод "Тракторзапчасть".

На рисунке 1.5 представлена схема централизованной очистки СОЖ.

Схема предусматривает 2-х ступенчатую очистку СОЖ путем отстоя и флотации и включает в себя следующие элементы: горизонтальный отстойник; напорный бак; насос для СОЖ; промежуточный бак; флотатор; сборник для СОЖ после флотации; фильтр; система трубопроводов.

Система очистки СОЖ в основном состоит из приёмного бака-отстойника и фильтров.

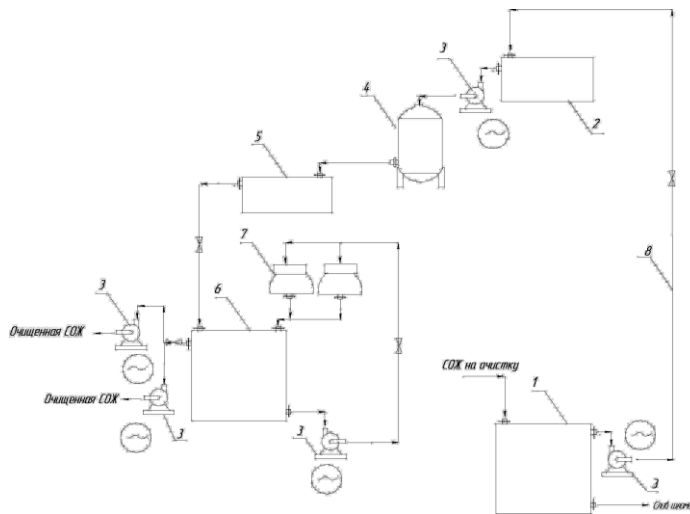


Рис. 1.5. Схема централизованной очистки СОЖ: 1 - горизонтальный отстойник; 2 - напорный бак; 3 - насос для СОЖ; 4 - промежуточный бак; 5 - флотатор; 6 - сборник для СОЖ после флотации; 7 - фильтр; 8 - система трубопроводов.

На рисунке 1.6 представлена схема децентрализованной (индивидуальной) очистки СОЖ.

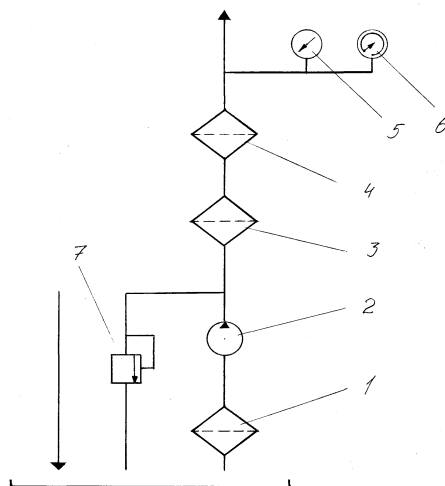


Рис. 1.6. Схема индивидуальной системы очистки СОЖ в станке: 1 - приёмный сетчатый фильтр; 2 - насос; 3,4 - магнитные фильтры; 5 - манометр; 6 - реле давления; 7 - обратный клапан.

Система очистки СОЖ на станке состоит в основном из приёмного сетчатого фильтра, бака-отстойника и магнитного фильтра.

Анализируя существующие системы, можно сделать вывод, что устанавливаемые системы очистки СОЖ не обеспечивают необходимую тонкость и степень очистки. Вследствие этого в ремонтном производстве возникают большие экономические затраты: закупка новых партий СОЖ или расходы на регенерацию отработанной СОЖ, плата за сбросы нефтепродуктов в водоёмы или затраты на эксплуатацию очистных сооружений.

В процессе принятия решения о необходимости повышения эффективности абразивной обработки восстанавливаемых деталей в технологических процессах ремонта деталей машин с помощью качественной очистки СОЖ, возникает задача организовать тонкую очистку СОЖ в магнитном отстойнике путём улучшения индивидуальной системы очистки каждого станка или же путём создания централизованной системы.

Проблема применения в технологических процессах ремонта машин магнитных отстойников является актуальной, поскольку многие ее задачи далеки от завершения и, особенно, в части промышленного освоения научных разработок. Это, в первую очередь, объясняется отсутствием обоснованных методов расчета технических средств с применением силовых полей электрической природы. При этом, проведенные до настоящего времени исследования по применению магнитного поля для интенсификации очистки СОЖ от механических примесей при абразивной обработке в основном носят экспериментальный характер и практически не содержат рекомендаций и способов расчета устройств (в частности отстойников) с магнитным полем [83-86].

Выводы по разделу

На основании проведенного анализа литературных данных по повышению качества ремонта деталей средств транспорта можно сделать следующие выводы:

- интенсификация технологического процесса механической обработки

(в частности абразивной) восстанавливаемых деталей автомобилей невозможно без совершенствования очистки смазочно-охлаждающей жидкости;

- в процессе абразивной обработки восстанавливаемых деталей происходит загрязнение СОЖ механическими примесями (более 90 %), которые обладают магнитными свойствами;

- установлено, что наиболее эффективными устройствами для очистки СОЖ от механических примесей при абразивной обработке восстанавливаемых деталей являются магнитные отстойники;

- существующие устройства и системы извлечения механических примесей из СОЖ не отвечают требованиям сегодняшнего дня, так как они малоэффективны (эффективность извлечения не превышает 68-75 %) и энергозатратны;

- дальнейшее повышение эффективности абразивной обработки восстанавливаемых деталей автомобилей требует разработки новой конструкции отстойника с магнитной системой.

РАЗДЕЛ 2

ПОВЫШЕНИЕ КАЧЕСТВА АБРАЗИВНОЙ ОБРАБОТКИ ВОССТАНАВЛИВАЕМЫХ ДЕТАЛЕЙ

2.1. Анализ причин отказов и малого ресурса восстанавливаемых деталей двигателей автомобилей

В связи с тем, что до 80 % отказов в работе двигателей транспортных средств происходит вследствие различных факторов: физического износа, коррозии, эрозии, кавитации, старения материала и др., поэтому каждый вид повреждений можно оценить определёнными критериями [87,88]. Однако, в реальных условиях выход из строя деталей двигателей транспортной техники при нормальных условиях эксплуатации в основном происходит вследствие отклонения размеров детали от номинального размера поверхности, отклонения от правильной геометрической формы детали, отклонения по шероховатости поверхности и т.д.

Поэтому, трудно решить задачу определения достоверности влияния некоторых параметров на качество ремонта деталей с помощью различных комплексных критериев, представляющих различные комбинации из неинформационных критериев.

Современное состояние технологических процессов восстановления деталей, наличие обширной экспериментальной техники для определения рабочих нагрузок и высокий уровень развития прикладной теории упругости при относительно хороших знаниях физических и механических свойств материалов, позволяют обеспечить достаточную прочность восстановленных деталей автомобилей с большой гарантией от их поломок в нормальных условиях эксплуатации. Однако практика эксплуатации двигателей показывает, что в 80 случаях из 100 они выходят из строя по причине отказа работы узлов трения в результате износа поверхностей трения или поломки, вызван-

ной им. Вследствие этого наиболее распространенной причиной выхода из строя восстановленных деталей транспортных средств, является не поломка, а износ, который обуславливает нарушение размеров, формы и взаимного положения рабочих поверхностей.

Большинство деталей автомобилей, примерно 65 %, имеет износ до 0,15 мм и только 5 % деталей при выходе автомобилей в капитальный ремонт имеют износ более 0,5 мм. При ремонте автомобилей повторно после восстановления могут использоваться до 70 % изношенных деталей [13].

Ранее проведенными исследованиями установлено, что к основным механизмам, которые ограничивают ресурс двигателей транспортной техники, относятся кривошипно-шатунный (до 60 %) и газораспределительный механизмы (до 20 %). Коленчатый вал в паре с блоком цилиндров являются основными базовыми деталями, определяющими срок службы двигателя, а значит и автомобиля в целом [13,15,16, 89]. Поэтому вопросам их технического обслуживания и качественного ремонта придается большое значение. Эксплуатация перечисленных деталей в двигателях показывает их относительно низкую износостойкость и недостаточную долговечность (рис. 2.1).

Таким образом, менее долговечной деталью при эксплуатации двигателей является коленчатый вал, который в основном определяет ресурс агрегата.

Причинами отказов и малого ресурса деталей после ремонта являются

- низкая культура производства ремонтных деталей;
- низкое качество механической обработки сопрягаемых поверхностей деталей.

По диаграмме распределения причин отказов и малого ресурса деталей после ремонта (рис. 2.2) установлено, что большинство отказов произошло по причине наличия дефектов механической обработки, что оказывает существенное влияние на все эксплуатационные свойства деталей (рис. 2.3). Неправильный выбор методов механической обработки деталей может затруднить обеспечение заданных параметров микро - и макрогеометрии и волни-

стости обработанных поверхностей деталей средств транспорта. Вследствие чего поверхности, подвергнутые механической обработке с грубой шероховатостью, изнашиваются быстрее, сокращая ресурс работы детали до допустимого износа, так как ресурс работы детали определяется величиной допустимого износа i для конкретной детали и интенсивностью изнашивания, особенно в период приработки, когда “съедается” большая часть металла:

$$i = f(i_{don} i_U), \quad (2.1)$$

где i_{don} - допустимый износ параметра детали, мкм;

i_U - интенсивность изнашивания, б/р.

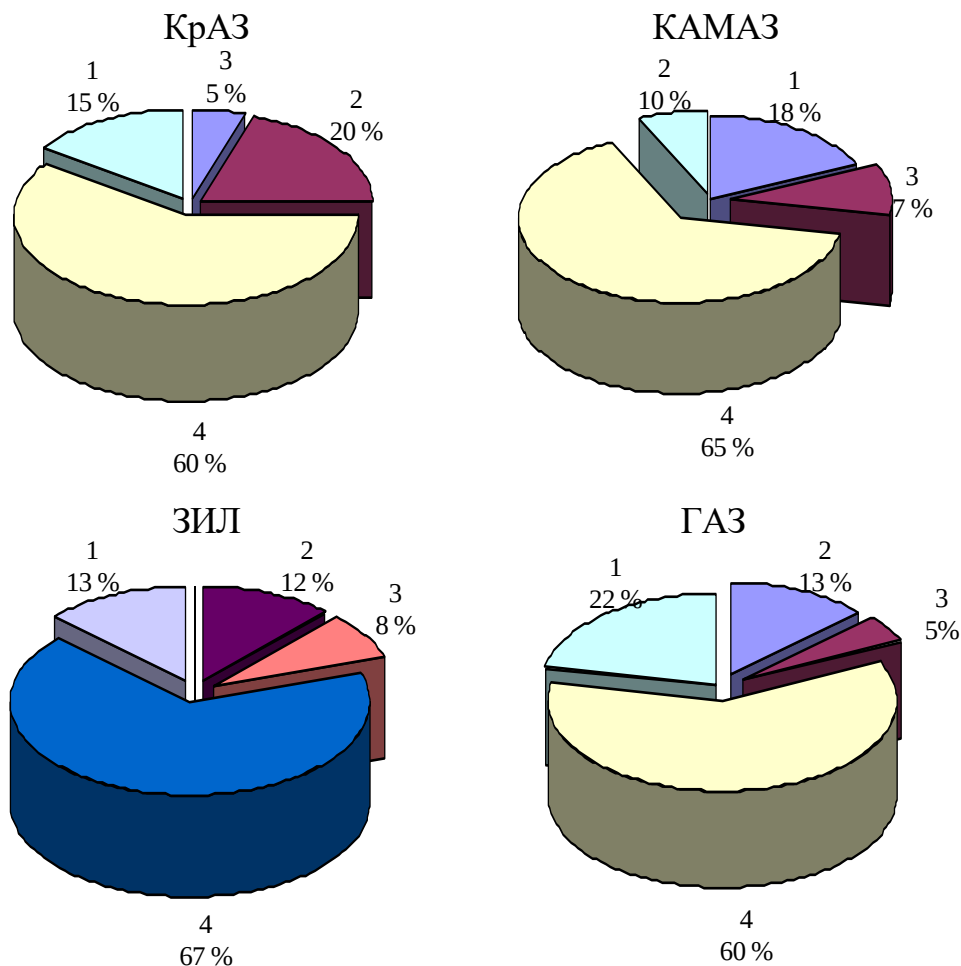


Рис. 2.1. Количество отказов деталей двигателей автомобилей, %: 1 - цилиндры; 2 - распределительный вал; 3 - поршневые кольца; 4 - коленчатый вал.

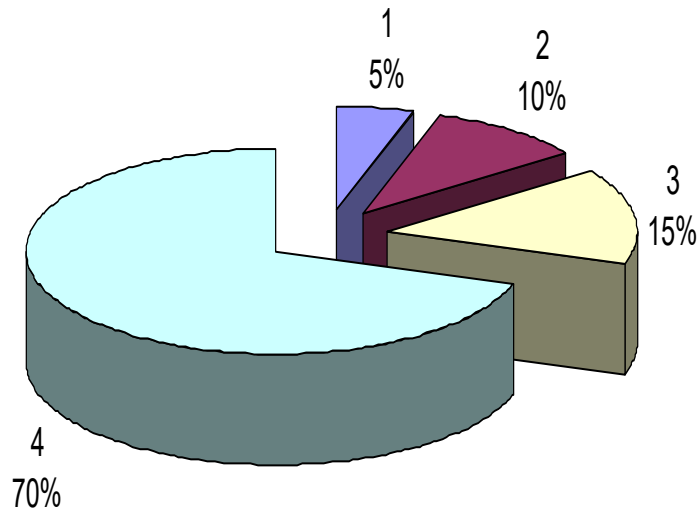


Рис. 2.2. Причины отказов и малого ресурса деталей, %: 1 - нарушения монтажа и эксплуатации и др.; 2 - абразивный износ деталей; 3 - скрытые дефекты при восстановлении; 4 - дефекты механической обработки деталей.

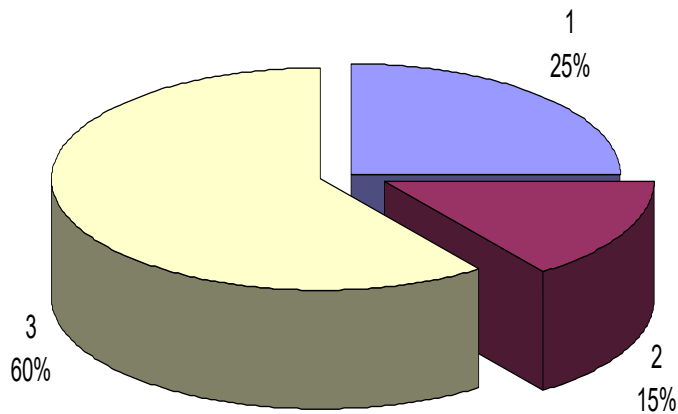


Рис. 2.3. Влияние дефектов механической обработки на свойства восстановленных деталей, %: 1 - изменение физико-механических свойств материала деталей; 2 - механические повреждения; 3 - изменение размеров, геометрии формы и микрогеометрии рабочих поверхностей.

Таким образом, механическая обработка существенно влияет на качество и свойства поверхностного слоя восстановленных деталей, от которого зависит, в основном, уровень эксплуатации автомобилей, а, следовательно, и срок службы транспортной техники.

2.2. Влияние условий абразивной обработки на стабильность процесса ремонта деталей автомобилей

Механическая обработка деталей при их ремонте является не только способом восстановления под ремонтный, размер, но и необходимой стадией предварительной обработки для придания детали правильной геометрической формы, снятия дефектного слоя, специальной подготовки поверхности под нанесение различного рода покрытий, а также как окончательная стадия обработки восстановленных деталей под номинальный размер. Некоторое время операциям механической обработки деталей под номинальный размер, при наращивании изношенной поверхности, уделялось гораздо меньше внимания, чем операциям нанесения покрытий на изношенную поверхность. При этом методы, приемы и режимы обработки деталей переносились из технологии изготовления в область восстановления.

Наиболее распространенным высокопроизводительным способом механической обработки является абразивная обработка восстанавливаемых деталей шлифовальными кругами. Шлифование эффективно заменяет такие виды обработки, как точение, фрезерование, при этом повышается точность и снижаются параметры шероховатости поверхности по сравнению с обработкой лезвийным инструментом.

Производительная абразивная обработка восстановленных поверхностей деталей, в основном, определяется параметрами режима резания. Известно, что при шлифовании абразивный круг, вращаясь с высокой скоростью, срезает часть металла поверхности восстановленной детали огромным числом беспорядочно расположенных режущих абразивных зерен, при этом производительность Π (кг/мин) операции шлифования оценивают количеством съема металла в единицу времени с одной детали:

$$\dot{I} = \frac{m_m}{\tau_{ia\phi}}, \quad (2.2)$$

где m_m - масса снятого материала за период обработки детали, кг;

$\tau_{\text{маш}}$ - машинное время на технологическую операцию, мин.

Время $\tau_{\text{маш}}$ на технологическую операцию обработки детали определяется:

$$\tau_{\text{ш}} = \frac{l_n}{v_n}, \quad (2.3)$$

где l_n – длина пути резания, мм;

v_n – скорость подачи инструмента, мм/мин.

Проведенные ранее аналитические и экспериментальные исследования процессов абразивной обработки деталей, показали, что в зависимости от режимов резания, может быть, достигнут в области устойчивого формообразования различный уровень производительности. Поэтому для одних и тех же деталей при разных способах восстановления применяют различные режимы резания [90].

Скорость резания позволяет в ряде случаев резко уменьшить основное время или увеличить период стойкости круга без снижения параметров геометрической точности и качества поверхностного слоя обработанных деталей. Регулирование свойств поверхностного слоя может быть реализовано путем выбора наиболее благоприятного соотношения окружных скоростей круга $v_{кр}$ и детали v_d , характеризующего длительность воздействия теплового источника. Последнее объясняется тем, что с увеличением скорости вращения детали (также как и с увеличением скорости вращения круга) сокращается время контакта абразивных зерен с материалом детали (при встречном шлифовании). При этом увеличиваются высотные параметры шероховатости шлифованных поверхностей, а также вибрация технологической системы и, следовательно, погрешности формы детали. Поэтому выбор соотношения $(v_{кр} / v_d)$ должен осуществляться не только из соображений уменьшения теп-

лосиловой напряженности, но и обеспечения заданных геометрических параметров качества. Принято считать, что наиболее благоприятным является отношение $v_{кр}/v_d \leq 60$ [45].

В то же время, механическая обработка в условиях ремонтного производства имеет ряд специфических особенностей — отсутствие или износ первичных технологических баз, нестабильность физико-механических свойств, например твердости по поверхности восстанавливаемых деталей и припусков на обработку, значительная твердость и хрупкость большинства видов покрытий, широкая номенклатура обрабатываемых деталей. Так, при обработке хромированных шеек коленчатых валов приходится снимать малые припуски (0,05-0,03 мм), в то время как при восстановлении тех же шеек валов металлизацией и наплавкой величины припусков в зависимости от размеров диаметра вала могут быть от 1 до 3 мм при металлизации и от 2 до 4 мм при наплавке. Даже при обработке изношенных поверхностей под ремонтные размеры приходится снимать деформированные слои металла, иногда со значительным наклепом поверхности детали. При этом абразивные инструменты при шлифовании подвергаются периодическим и перманентным силовым, тепловым и физико-химическим воздействиям, в результате которых их рабочие поверхности изнашиваются, затупляются и засаливаются, что приводит к снижению режущей способности инструмента (стойкости) и влияет на параметры механической обработки.

Наиболее интенсивно шлифовальный круг теряет режущую способность при засаливании, поскольку засаливание является, в основном, следствием налипания частиц материала (металла) восстановленной детали на абразивные зерна, в результате чего теряют режущую способность еще не затупленные зерна, со всеми вытекающими из этого негативными последствиями [91-93]. Так как контакт между двумя поверхностями происходит в высоконагруженных участках, то давление может быть чрезвычайно высоким (более 100 МПа), поэтому возникает склонность к схватыванию и вырыванию отдельных выступов с поверхности сцепления, которое зависит от каче-

ства поверхности инструмента и обрабатываемой детали, их шероховатости. В результате превращения механической энергии в тепловую возникают тепловые источники (в зонах деформации срезаемого слоя, а также в зонах трения контактов инструмент - стружка и инструмент - деталь), влияющие на качество поверхностного слоя обработанной детали, а также структуры и твердости поверхностных слоев режущего инструмента. Под действием этой теплоты восстановленная деталь прогревается на определенную глубину и до определенных температур. Кратковременный нагрев может вызвать повышение температуры от 800 до 900 °С.

Для снятия частиц налипшего металла, восстановления геометрической формы шлифовального круга в продольном и поперечном сечениях, режущей способности абразивных зерен на макро-, микро- и субмикроуровнях и круга в целом, применяют правку шлифовального круга, однако при этом расход шлифовальных кругов на правку составляет от 90 до 95 % от общего их расхода, а затраты на правку достигают 70 % от себестоимости технологических операций [90,92].

Уменьшение нагрева детали при шлифовании является радикальным средством снижения засаливания шлифовального круга, повышения и стабилизации их режущей способности.

Применяя новые прогрессивные составы СОЖ и современные способы их подачи (гидроаэродинамический, струйно-напорный, поэтапный), можно создать такие условия охлаждения, при которых, несмотря на высокую контактную температуру, поверхностный слой материала детали будет претерпевать наименьшие изменения. Эти обстоятельства являются решающими при абразивной обработке деталей.

Однако загрязнение СОЖ механическими примесями может существенно исказить стабилизацию режущей способности инструмента, и как следствие получение искаженных характеристик поверхностей восстанавливаемых деталей. Стабильность чистоты СОЖ зависит от надежной работы очистителей, производящих очистку жидкости от шлифовального шлама. В тоже вре-

мя, как показал анализ, применяемые в настоящее время очистители на станках не позволяют прогнозировать качественные показатели чистоты СОЖ.

Для достижения наибольшей эффективности процесса абразивной обработки при восстановлении деталей средств транспорта необходимо выбрать такие режимные параметры очистителя, которые обеспечат обработку деталей с наименьшей стоимостью и требуемым качеством, т. е. требуется определить для оптимальных режимов обработки деталей экономически целесообразные характеристики очистки.

В связи с этим, для обеспечения чистоты СОЖ, в зависимости от различных условий абразивной обработки деталей средств транспорта, важное значение приобретает анализ влияния качества СОЖ на эффективность процесса абразивной обработки при восстановлении деталей средств транспорта.

2.3. Зависимость качества абразивной обработки деталей от наличия СОЖ при шлифовании

Многолетний опыт эксплуатации автотранспортной техники отечественного и зарубежного производства деталей показал широкое применение деталей, изготовленных, как из стали, так и из высокопрочного чугуна. Например, коленчатые валы автомобильных двигателей моделей ЯМЗ, ЗИЛ изготавливаются из сталей 50 и 45 соответственно, а ЗМЗ из чугуна. Применение новых технологий литья позволяет применение коленчатых валов (в частности для автомобиля КамАЗ) из высокопрочного чугуна [94].

Исходя из выше приведенного, для изучения влияния СОЖ на качество шлифованной поверхности восстановленных деталей средств транспорта, исследовались коленчатые валы из стали 45 и из высокопрочного чугуна ВЧ50. Оценку эффективности абразивной обработки определяли по следующим основным критериям: стойкость шлифовального круга $T_{кр}$, (мин) и уровень шероховатости восстановленной поверхности, параметр R_a , (мкм). Образцы обрабатывались на круглошлифовальном станке модели 3А151[95,96].

При этом использовались шлифовальные круги 24A40C1K5 и 24A40CM2K, рекомендованные для шлифования стальных и чугунных деталей. Требуемая величина параметра шероховатости поверхности детали составляла $R_a = 0,63-0,32$ мкм. Рабочая скорость круга установлена $v_{кр} = 35$ м/с; скорость вращения детали $v_d = 25,0$ м/мин, глубина резания t_p находилась в диапазоне от 0,001 до 0,006 мм. В качестве СОЖ использовали 2 % - ную эмульсию Укринол-1, расход которой составлял 10-12 л/мин. Качество шлифованной поверхности и оценка состояния поверхности круга производилась визуально с помощью микроскопа МИМ-6 оснащенным цифровой камерой (рис. 2.4) при 600 – кратном увеличении, используя программу Adobe Photoshop.



Рис 2.4. Установка для исследования качества шлифованной поверхности деталей.

Исследования проводились в следующем порядке.

На первом этапе производилось шлифование коленчатых валов без применения СОЖ. При контакте абразивного круга с поверхностью коленчатого вала происходит перенос и интенсивное схватывание металла детали. Это приводит к разрушению шлифованных поверхностей в виде глубинных вырывов-задиров, а в ряде случаев - к заеданию шлифованной пары. Кроме того из-за невысокой скорости шлифования уменьшается производительность обработки. Фотографии поверхностей шеек коленчатых валов шлифо-

ванных без применения СОЖ (при увеличении в 600 раз) представлены на рис. 2.5.

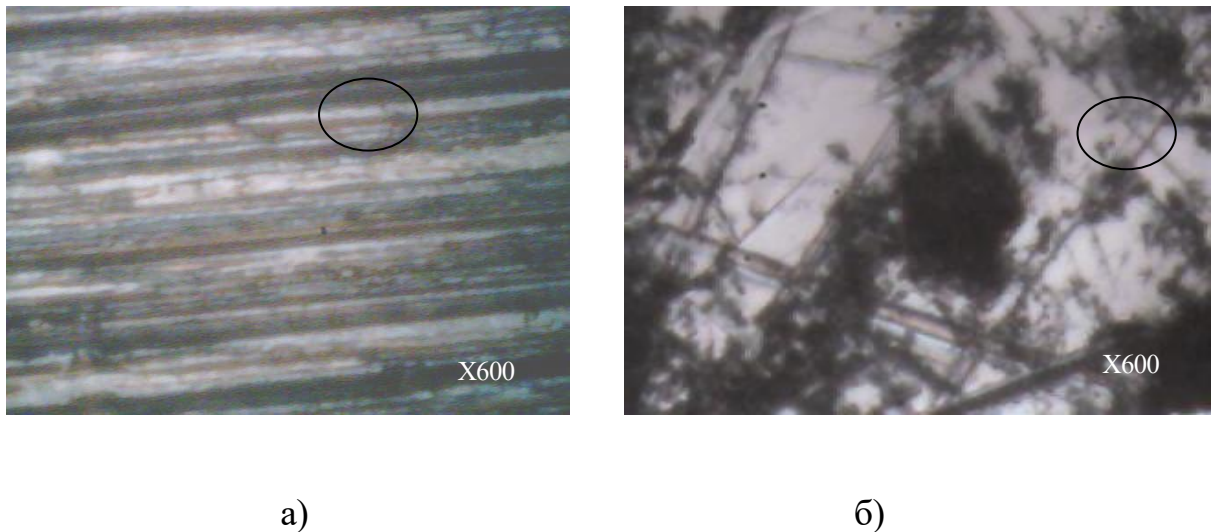


Рис. 2.5. Поверхности шеек коленчатых валов, шлифованные без СОЖ: а)

Таким образом, процесс шлифования без наличия СОЖ представляет собой сложный процесс, при котором происходят явления, близкие к механическому (царапание, отслаивание, выкрашивание, образование стружки), коррозионно-механическому (химическое отслаивание) и молекулярно-механическому (схватывание при трении, перенос материала) изнашиванию.

В результате этого наблюдается ухудшение параметров шероховатости обработанной поверхности и появление местных прижогов (отпуск закаленной поверхности), что резко снижает твердость поверхности и в дальнейшем приводит к увеличению интенсивности изнашивания восстановленной поверхности.

Как указывалось ранее (раздел 1), позитивное влияние на обработку деталей абразивным инструментом оказывает наличие СОЖ, поэтому на втором этапе исследований шлифование образцов коленчатых валов проводили с применением СОЖ. При правильном подборе СОЖ, а также при оптимальном способе ее подачи происходит уменьшение теплосиловой напряженности шлифования, что является радикальным средством снижения засалива-

ния шлифовального круга, повышения и стабилизации его режущей способности.

Фотографии поверхностей коленчатых валов шлифованных с применением СОЖ (при увеличении в 600 раз) представлены на рис. 2.6, 2.7. На фотографиях видно снижение уровня шероховатости (отмеченные участки), округлость канавок резания абразивным зерном, отсутствие задиров и прижогов.

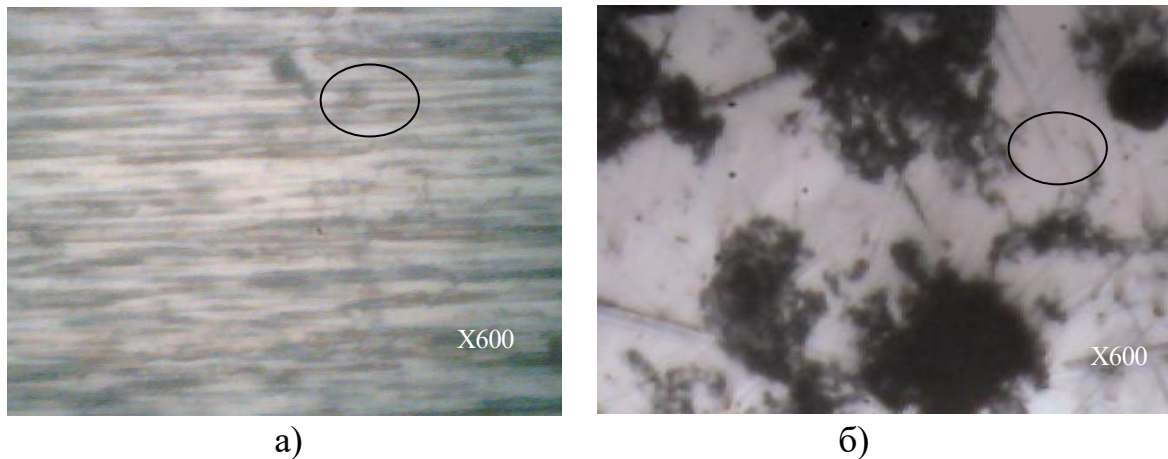


Рис.2.6. Поверхности шеек коленчатых валов, шлифованные с применением чистой СОЖ: а) сталь 45; б) высокопрочный чугун ВЧ 50.

На третьем этапе исследований производили шлифование образцов коленчатых валов из тех же материалов, с применением СОЖ различной чистоты. При этом СОЖ загрязняли принудительно. Концентрация загрязнений составляла от 0,2 г/л до 1,0 г/л.

Шейки коленчатых валов шлифованных с применением загрязненной СОЖ представлены на рис. 2.7.

В результате проведенного эксперимента установлено: при обработке коленчатых валов с загрязненной СОЖ, шлам, состоящий из стружки, металлической окалины и осколков шлифовального круга, вместе с СОЖ попадает в зону шлифования и вступает в контакт с абразивными зернами, связкой и рельефом поверхности шлифуемой детали, при этом происходит снижение стойкости шлифовального круга (рис. 2.8), искажение исходной (правильной) геометрической формы шлифовального круга, что, в свою очередь, интенсифицирует процесс износа.

фицирует вибрации технологической системы и приводит к увеличению погрешностей формы детали (рис. 2.9).

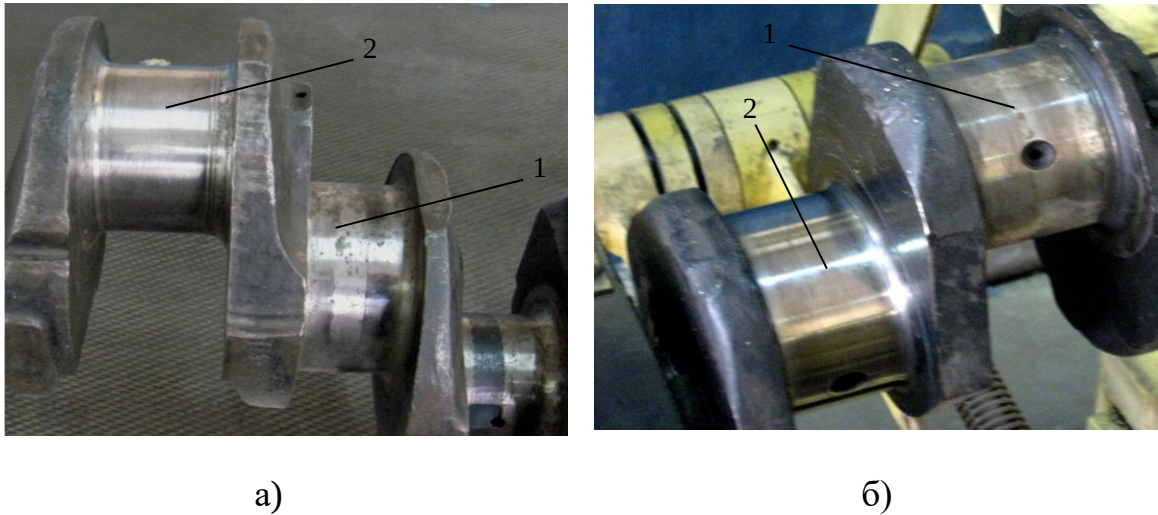


Рис. 2.7. Шейки коленчатых валов: а) сталь 45; б) высокопрочный чугун ВЧ 50, обработанные с применением: 1 - загрязненной СОЖ; 2 - чистой СОЖ.

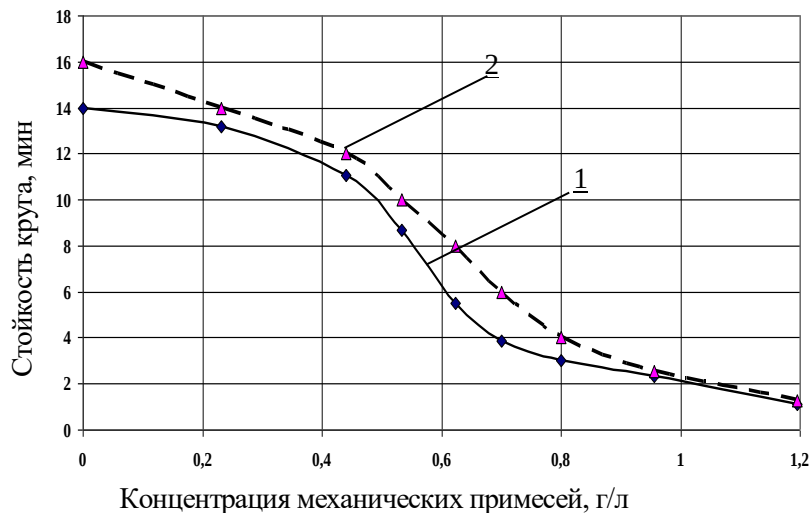


Рис. 2.8. Влияние концентрации механических примесей в СОЖ на стойкость шлифовального круга: 1) сталь 45; 2) высокопрочный чугун ВЧ 50.

В зависимости от концентрации и размеров частиц механических примесей в СОЖ на обрабатываемых поверхностях деталей появляются такие дефекты, как царапины (рис. 2.10, 2.11), что приводит к повышению параметра шероховатости поверхности деталей (рис. 2.12). Постепенное увеличение параметра шероховатости объясняется возрастанием вероятности попадания в зону контакта крупных частиц металла и абразива в связи с увеличением их количества.

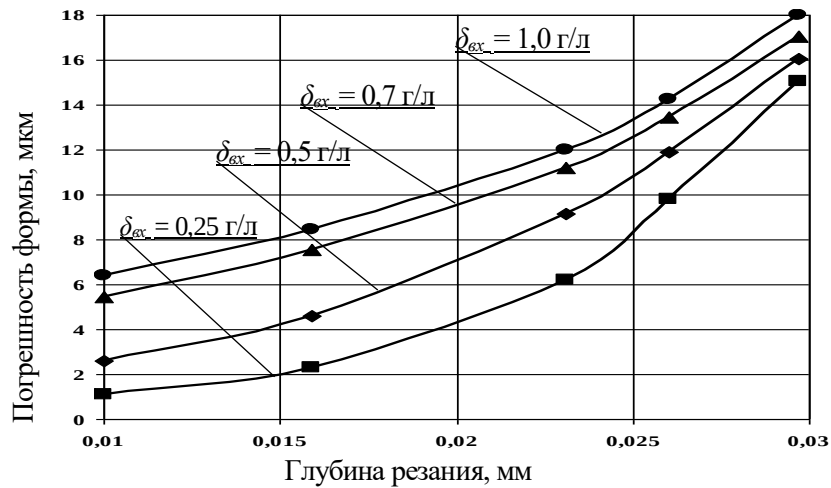
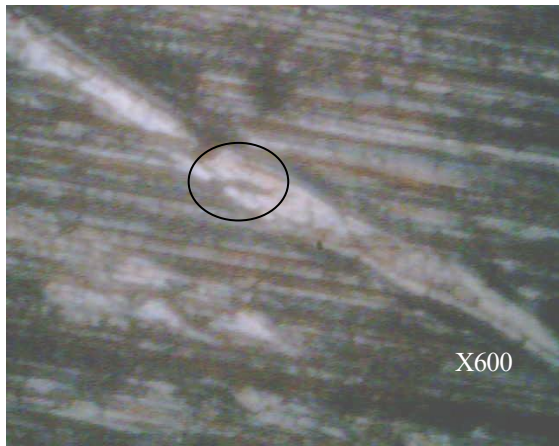


Рис. 2.9. Влияние концентрации механических примесей $\delta_{\text{мх}}$ в СОЖ на погрешность формы поверхности детали.



а)



б)

Рис. 2.10. Поверхности шеек коленчатых валов, шлифованные с применением загрязненной СОЖ: а) сталь 45; б) высокопрочный чугун ВЧ 50.

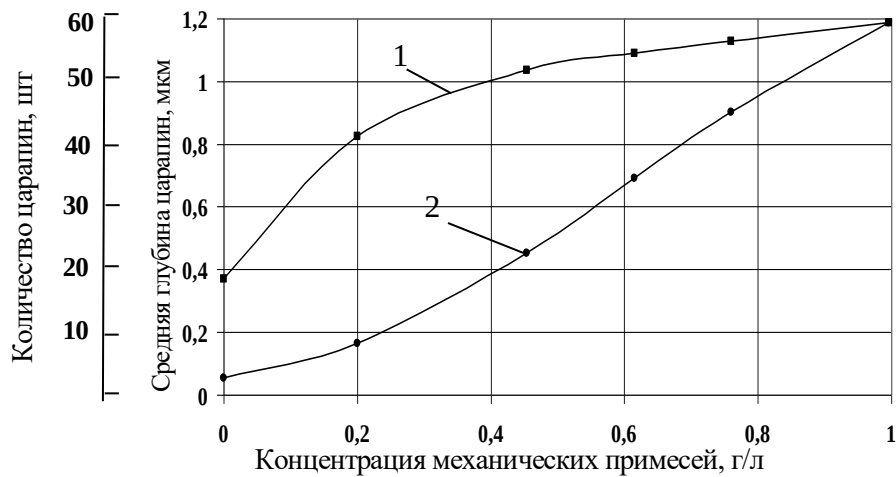


Рис. 2.11. Влияние концентрации механических примесей в СОЖ на глубину (1) и количество царапин (2) на поверхности деталей.

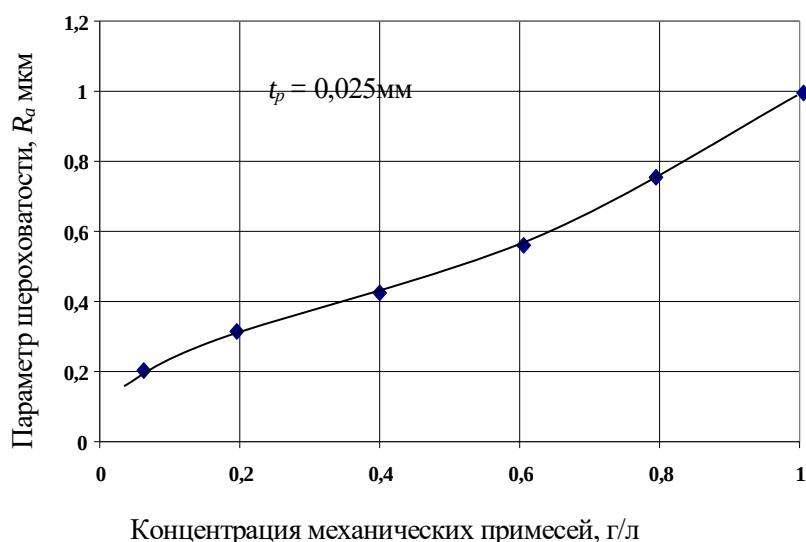


Рис. 2.12. Влияние концентрации механических примесей в СОЖ на шероховатость поверхности деталей.

Из полученных результатов следует, что снижение износа шлифовальных зерен круга при абразивной обработке, вследствие очистки СОЖ от механических примесей, приводит к уменьшению до 35 % параметра шероховатости поверхности детали. При этом почти в 2 раза снижается скорость её изнашивания, что является одной из характеристик качества восстановления деталей автомобилей.

2.4. Влияние режимов шлифования на загрязненность СОЖ

В настоящее время разработан ряд стандартов, устанавливающих классы чистоты СОЖ. К ним в первую очередь следует отнести ГОСТ 17216-2001[97]. Данный стандарт устанавливает 17 классов чистоты жидкости, которые указывают требования к жидкостям при их поставке, транспортировке и хранении. Кроме того этот стандарт предусматривает требования к жидкостям при эксплуатации машин и устройств. Данные требования приведены в технологической документации на изготовление и ремонт систем, устройств, машин и деталей.

В работе [98] приведены классы чистоты жидкостей в соответствии с американским стандартом, разработанным SAE, ASTM и AJA.

Вышеприведенные стандарты применимы для рабочих жидкостей, используемых в различных гидроприводах, и регламентируют размеры и количество посторонних механических частиц. Они дают ориентировочные данные о содержании механических примесей в различных устройствах. Регламентированные значения содержания примесей в СОЖ при абразивной обработке необходимы для более точного прогнозирования обеспечения заданной шероховатости и точности геометрической формы обработанной поверхности детали. В связи с этим, указанные стандарты не могут быть полностью применены для нормирования чистоты СОЖ при абразивной обработке восстанавливаемых деталей транспортной техники.

Поэтому необходимо установить влияние режимов резания на загрязненность СОЖ для определения допустимых значений концентраций механических примесей в СОЖ. Расчетными элементами режима резания при шлифовании являются:

- окружная скорость круга (указывается в конце характеристики круга и является максимальной допускаемой прочностью круга);
- скорость вращательного или поступательного движения детали;
- глубина резания – слой металла, снимаемый шлифовальным кругом за один или двойной ход при круглом или плоском шлифовании или же равная всему припуску на сторону при врезном шлифовании;
- продольная подача – перемещение шлифовального круга вдоль своей оси в мм на оборот заготовки при круглом шлифовании или в мм на каждый ход стола при плоском шлифовании периферией круга;
- радиальная подача – перемещение шлифовального круга в радиальном направлении в мм на один оборот детали при врезном шлифовании (рис. 2.13).

Для установления наиболее значимых элементов режима резания при обработке цилиндрических наружных поверхностей деталей (шеек распределительных валов, коленчатых валов и др.), влияющих на концентрацию механических примесей в СОЖ преобразуем формулу (2.3):

$$\tau_{i\delta} = \frac{l_{\delta} \cdot h_{\delta}}{1000 \cdot v_{\delta} \cdot t_{\delta}} \cdot k_{\delta}, \quad (2.4)$$

где l_{δ} - величина хода стола, мм;

h_{δ} - величина припуска на сторону, мм;

k_{δ} - коэффициент, учитывающий выхаживание, $k_{\delta} = 1,1$ - при предварительном шлифовании, $k_{\delta} = 1,4$ - при чистовом шлифовании [99].

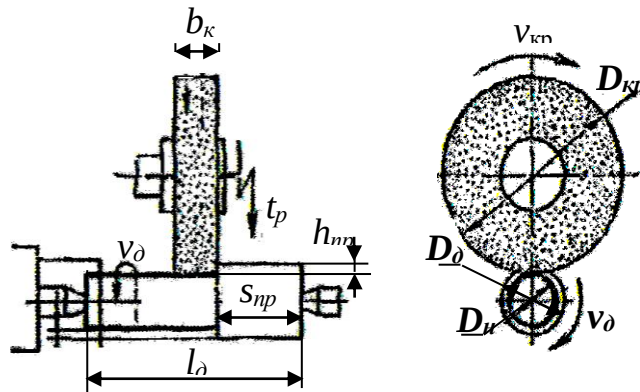


Рис. 2.13. Схема обработки шлифовальным кругом деталей класса "валы":

h_{δ} - величина припуска, мм; l_{δ} - длина детали мм; v_{kp} - скорость вращения круга, м/с; v_{δ} - скорость вращения детали, м/мин; b_k - ширина круга, мм; D_{δ} и D_n - действительный и номинальный размер детали, мм; D_{kp} - диаметр круга, мм; t_p - глубина резания, мм; s_{np} - продольная подача круга, дв. ходов/ мин.

Для теоретического определения объема снятого материала m_m за период обработки детали используем следующую зависимость:

$$m_m = \frac{\pi \cdot l_{\delta}}{4} \cdot (D_{\delta}^2 - D_i^2) \cdot \rho_i, \quad (2.5)$$

где ρ_m - плотность материала детали, кг/м³.

Так как количество двойных ходов стола $n_{\delta \text{ в. х}}$ равно:

$$n_{\ddot{a}\hat{a}\hat{o}} = \frac{h_{\ddot{a}\hat{a}\hat{o}}}{t_p}, \quad (2.6)$$

а разность между действительным и номинальным размерами детали равно $2h_{np}$, тогда:

$$m_{\ddot{a}} = \frac{\pi \cdot l_{\ddot{a}}}{4} \cdot \left[t_p \cdot n_{\ddot{a}\hat{a}\hat{o}} \cdot (2D - 2t_p \cdot n_{\ddot{a}\hat{a}\hat{o}}) \right] \cdot \rho_i. \quad (2.7)$$

Это указывает на то, что наиболее значимым элементом режима резания при шлифовании, влияющим на объем снятого металла, является глубина резания t_p .

Ориентировочно количество подаваемой жидкости $Q_{ж}$ зависит от ширины шлифовального круга: на каждые 10 мм ширины круга расходуют примерно 10 - 30 л/мин жидкости.

Для оценки влияния на производительность процесса шлифования восстанавливаемых деталей изменений параметров режима резания определяли объем снятого металла за одну минуту обработки $\tau_{мин}$ детали [99]. Например, для наплавленных шеек коленчатых валов автомобильного двигателя ЗИЛ (толщина наплавленного слоя 1,6-2,0 мм) в сравнении с обработкой изготовленного коленчатого вала из поковки с последующей объемной штамповкой в закрытых штампах (величина припуска 0,2-0,3 мм) и восстановленного коленчатого вала металлизацией напылением (величина припуска 0,4-0,6 мм). В качестве СОЖ принимаем 3 % - ную эмульсию Укринол-1. Расчеты проводились на ПЭВМ в Microsoft Office Excel.

Установлено, что в той или иной мере каждый элемент режима резания при шлифовании приводит к изменению объема снятого материала. Однако глубина резания, основной элемент режима обработки, а также способ наращивания поверхности детали, с последующей абразивной обработкой, оказы-

вают влияние на концентрацию механических примесей в СОЖ (рис. 2.14, 2.15).

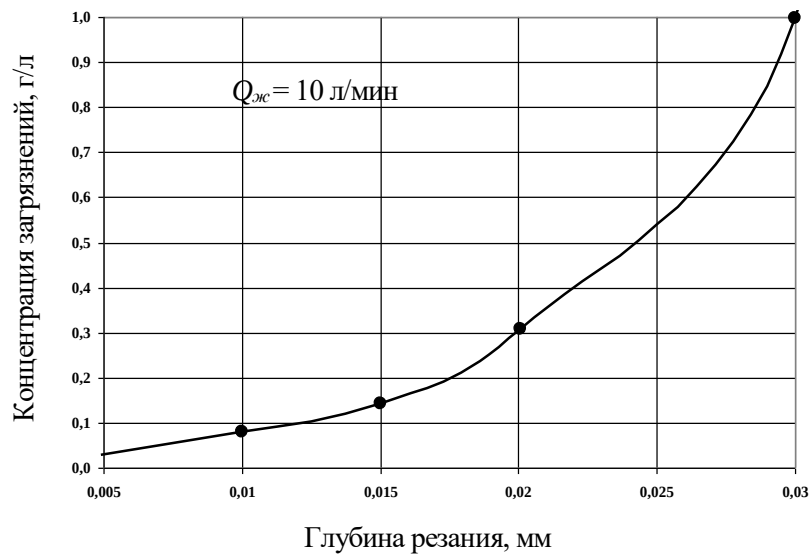


Рис.2.14. Зависимость концентрации примесей в СОЖ от глубины резания.

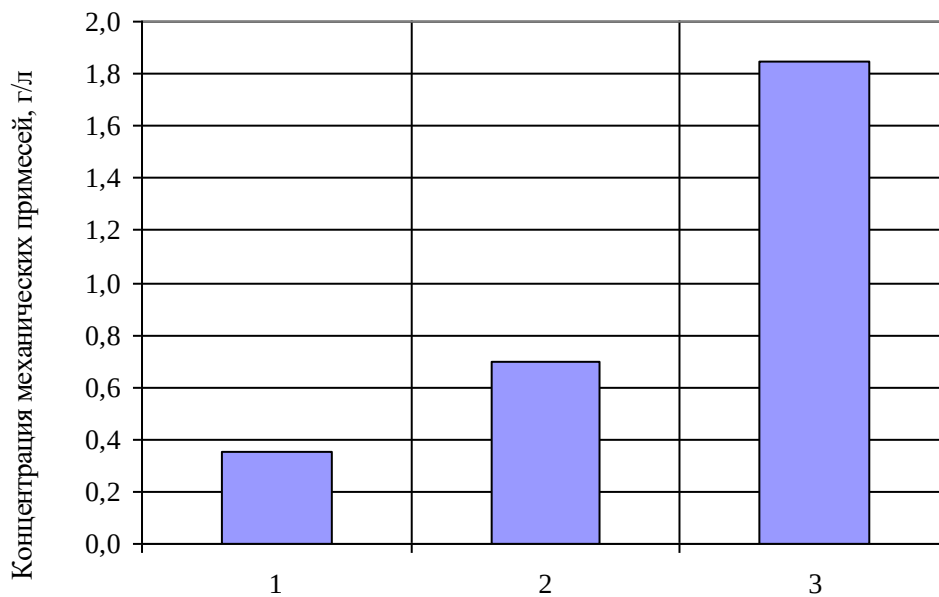


Рис. 2.15. Распределение загрязненности СОЖ при шлифовании поверхностей деталей за одну минуту обработки: 1- штампованная и проточенная; 2- восстановленная металлизацией напылением; 3- наплавленная под слоем флюса.

Так как важнейшей характеристикой работы любого устройства для очистки СОЖ при абразивной обработке деталей, является величина пре-

дельного размера частиц механических примесей, на втором этапе путем анализа состава шлама, образующегося при шлифовании, определяли гранулометрическую характеристику механических примесей в СОЖ. Этот показатель является функцией конструктивных и других параметров абразивной обработки деталей. Проведенные ранее исследования показали, что наличие в СОЖ механических загрязнений размером от 5 до 10 мкм увеличивает вероятность заполнения частицами пространства между зернами шлифовального круга, тем самым происходит изменение геометрических параметров его рабочей поверхности, приводящее к снижению режущей способности инструмента.

Полученные результаты, в основном, совпадают с исследованиями в этой области, которые проводились проф. Якимовым О.В., проф. Усовым А.В., д.т.н. Худобиным Л. В, д.т.н. Степановым М.С. и другими учеными, результаты их теоретических и экспериментальных исследований лежат в основе ряда публикаций [100-105].

Для определения гранулометрического состава примесей, на экспериментальной установке обрабатывали партию коленчатых валов двигателей ЗИЛ из конструкционной закаленной стали 45 ГОСТ 1050-88 твердостью 50-60 HRC электрокорундовыми кругами зернистостью 16-60 и твердостью CM1 и CM2.

Скорость шлифовального круга $v_k = 35$ м/с, глубина резания менялась от 0,005 до 0,06 мм. Припуск: на предварительное шлифование - 0,3 мм, на чистовое - 0,04 мм. СОЖ подавали свободно падающей струей (поливом). При обработке контролировали расход подачи СОЖ в зону резания, что позволяло ориентировочно определять гранулометрический состав загрязнённости СОЖ в зоне резания.

Для очистки СОЖ применялся бак отстойник (рис. 2.16, а). Пробы для изучения распределения частиц по размерам, взятые из емкости резервуара СОЖ, обрабатывались прибором контроля чистоты жидкости ПКЖ-904В (рис. 2.17) [106].



а)



б)

Рис. 2.16. Устройства очистки СОЖ: а) бак отстойник; б) магнитный сепаратор.



Рис. 2.17. Определение концентрации механических примесей в СОЖ прибором контроля чистоты ПКЖ-904В.

Для определения габаритных размеров, формы частиц использовалось устройство, предназначенное для определения габаритных размеров и формы магнитных частиц в дисперсных средах [107].

В результате исследований установлено, что с увеличением глубины резания при обработке восстановленных деталей режущая способность шлифовального круга со временем практически не изменяется, однако создаются условия для перехода шлифовального круга в режим самозатачивания и его

большого износа, так как преобладает процесс скалывания абразивных зерен и вырывания их из связки, тем самым увеличивая концентрацию примесей в СОЖ.

Также установлено, что на долю магнитных частиц приходится до 70 % от общего количества примесей (рис. 2.18), из них до 65 % имеют размер до 10 мкм, до 10 % частицы от 10 до 20 мкм, до 8 % частицы от 20 до 30 мкм. Количество частиц уменьшается с увеличением их размера (табл. 2.1, рис. 2.19). Это связано с процессом съема металла (формирования обработанной поверхности) в результате действия абразивных зерен. При этом размер частиц в основном зависит от твердости и зернистости шлифовального круга. Если абразив имеет меньшую твердость, чем металл и малый размер зерен (125-40 мкм), то съем металла минимален; при повышении размера абразива (2000-160 мкм) съем металла возрастает, что приводит к увеличению снятого с детали металла и размера его частиц.

На третьем этапе исследований оценивали эффективность очистки СОЖ при абразивной обработке деталей. Очистка СОЖ проводилась индивидуальным магнитным сепаратором типа МО 45 (рис. 2.16, б).

Таблица 2.1

Средние значения концентраций примесей СОЖ

Вид обработки	Зернистость шлифовального круга	Глубина резания, мм	Общая концентрация примесей в СОЖ, δ_{ex} , кг/м ³	Общая концентрация магнитных частиц в шламе,	Средний размер частиц в СОЖ, $d_{\text{ч}} \cdot 10^{-6}$, м
Черновая	200/160-125/60	0,010	2,0	1,7	45
		0,07	1,8	1,6	25
Чистовая	42/28-20/16	0,005	0,9	0,8	10

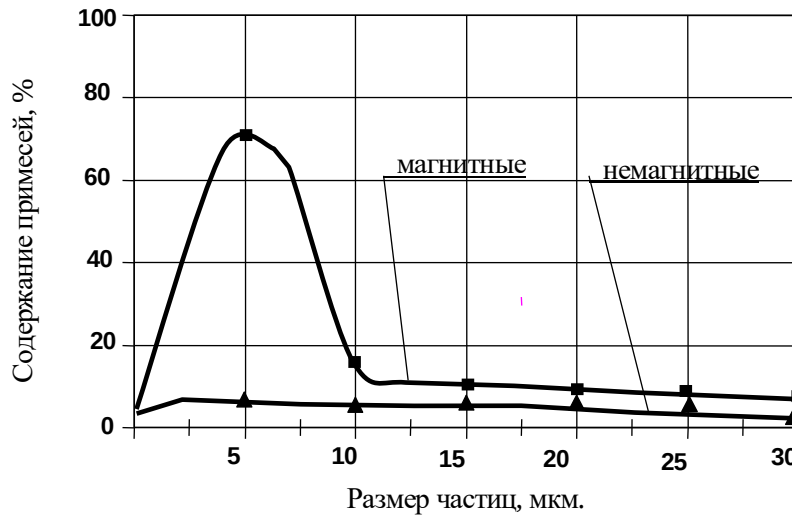


Рис. 2.18. Гранулометрическая характеристика механических примесей в СОЖ.

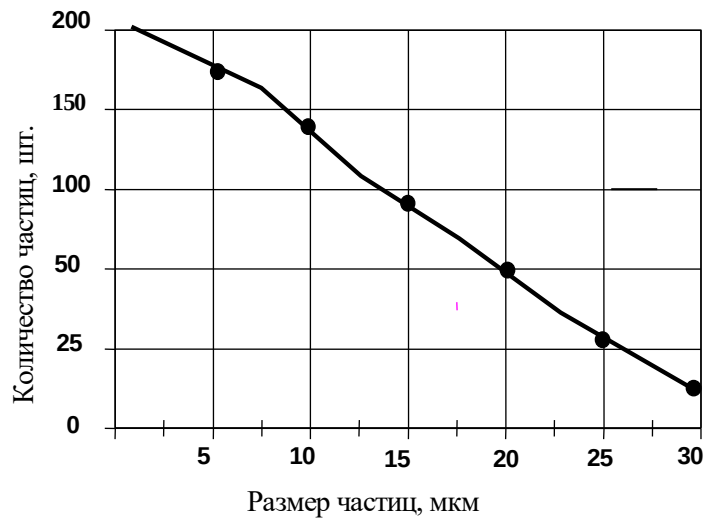


Рис. 2.19. Количество частиц механических примесей в СОЖ в диапазоне размера от 5 до 30 мкм.

В результате проведенных исследований при шлифовании восстановленных деталей, установлено, что значение концентрации механических примесей $\delta_{\text{вх}}$ в СОЖ после очистки составило от 0,7 г/л до 1,8 г/л, что не соответствует требуемым предельным значениям показателей чистоты $\delta_{\text{вых}}$ СОЖ: для предварительного шлифования $\delta_{\text{вых}} = 0,4$ г/л, для окончательного $\delta_{\text{вых}} = 0,1$ г/л [108-109].

Таким образом, уровень оснащения станков существующими установками для очистки СОЖ, следует считать не достаточным, вследствие малой их эффективности очистки.

2.5. Прогнозирование повышения качества восстанавливаемых деталей при абразивной обработке

Эффективность ремонта автомобилей обуславливается способностью ремонтного производства обеспечивать качественное восстановление деталей при оптимальных затратах времени труда и средств. Качество полученной после обработки детали характеризуется, в основном, точностью ее размеров и шероховатостью поверхностей. От того, насколько точно выдержан при обработке размер, форма и шероховатость поверхности детали, будет зависеть правильность сопряжения деталей в сборочной единице и, как следствие, надежность машины в целом.

Проблемы совершенствования существующих и разработка новых технологических процессов ремонта, а также проектирование и создание оптимальных конструкций оборудования тесно связаны с вопросами определения прогноза качества восстановленных узлов и конструкций средств транспорта. При этом интенсивность износа деталей определяется не только технологией восстановления свойств поверхностного слоя детали, но и условиями работы деталей и внутренними изменениями качества поверхностного слоя металла при трении в процессе эксплуатации детали, что неразрывно связано со сроком их службы. Учитывая, что невозможно точно предусмотреть условия и факторы, которые будут влиять на реализацию возможного события в будущем, прогнозирование качества изделия является вероятностным процессом.

Важным условием правильного выбора метода прогнозирования является знание факторов, воздействующих на процесс изнашивания деталей автомобиля. Согласно современным представлениям, эксплуатационные свойства деталей, в том числе и износостойкость, взаимосвязаны с целым комплексом параметров состояния поверхностного слоя. В настоящее время при назначении технологических регламентов механической обработки детали, как правило, учитывается лишь один показатель шероховатости – среднее арифметическое отклонение профиля R_a .

Как показали проведенные исследования при абразивной обработке восстанавливаемых деталей средств транспорта, вследствие загрязнения СОЖ механическими примесями, происходит износ шлифовальных зерен, тем самым уменьшается период стойкости шлифовального круга и соответствующего увеличения числа его правок, что приводит к увеличению затрат труда и времени для обеспечения требуемого параметра шероховатости.

Поэтому, при решении задачи по оценке эффективности абразивной обработки восстановленных деталей для прогнозирования повышения качества деталей средств транспорта, использовалась зависимость, предложенная в работе [110] и разработанная на основании формирования параметра шероховатости поверхности от величины износа абразивного зерна. Предложенная математическая модель позволяет определять сочетания технологических факторов, обеспечивающих достижение заданных характеристик качества восстанавливаемой базовой поверхности.

Так как реальные условия формирования рельефа рабочей поверхности шлифовального круга имеют сложный и нелинейный характер, в работе использовалась упрощенная аналитическая зависимость для определения параметра R_a , которая учитывает условное одновысотное островершинное выступление зерен:

$$R_a = 0,2 \cdot R_{\max} = \left(\frac{100\pi \cdot X \cdot v_a}{6 \cdot \tan \gamma \cdot m \cdot v_{\varepsilon\delta}} \cdot \sqrt{\frac{1}{D_{\varepsilon\delta}} + \frac{1}{D_a}} \right)^{0,4}, \quad (2.8)$$

где X - зернистость круга, м;

m - объемная концентрация зерен круга;

γ - угол при основании зерна абразивного круга, рабочая часть которого представлена в форме конуса.

Прогнозирование формирования параметра шероховатости R_a поверхности выполнялось для шеек коленчатого вала автомобильного двигателя ЗИЛ,

обработанных шлифовальным кругом 24A40C1K5, $v_k = 35$ м/с, $v_d = 15$ м/мин.

На рис. 2.20 представлена зависимость параметра шероховатости R_a от величины износа абразивного зерна шлифовального круга.

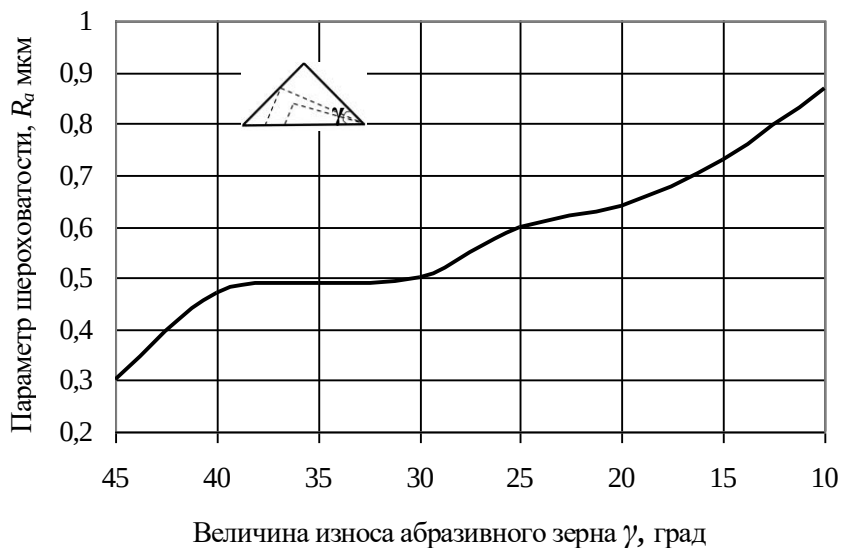


Рис. 2.20. Зависимость параметра шероховатости R_a от величины износа абразивного зерна шлифовального круга.

Поэтому, во избежание влияния загрязненности СОЖ на снижение износа шлифовальных зерен круга при абразивной обработке, а также получение требуемого параметра поверхности восстановленных деталей, необходимо тщательно очищать СОЖ, особенно от металлической составляющей загрязнителя.

Выводы по разделу

Результаты исследований, проведенные в данном разделе, позволяют сделать следующие выводы:

- при использовании абразивной обработки для ремонта деталей автомобилей наблюдается интенсивная потеря режущей способности шлифовальных кругов. Это отрицательно влияет на качество восстанавливаемых деталей и в дальнейшем может уменьшить ресурс двигателя;
- применение СОЖ, не загрязненной механическими примесями может существенно повысить режущую способность инструмента;

- на качество поверхности детали при абразивной обработке значительное влияние оказывает чистота СОЖ. Однако при шлифовании восстановленного вала наплавкой или металлизацией напылением значение показателя чистоты СОЖ ухудшается от 2 до 3 раз, соответственно, в сравнении с механической обработкой заготовки вала. Значение концентрации механических примесей в СОЖ после очистки стандартными очистителями составила от 0,7 г/л до 1,8 г/л, что значительно выше предельных значений показателей чистоты применяемых СОЖ;

- с возрастанием концентрации и размеров твердых примесей в СОЖ в 1,3-1,5 раза уменьшается период стойкости круга, в среднем до 1,5 раз увеличивается шероховатость и до 10 % снижаются показатели точности формы шлифуемых деталей;

- установлено, что на долю магнитных частиц приходится до 70 % от общего количества примесей, из них до 65 % имеют размер до 10 мкм, до 10 % частицы от 10 до 20 мкм, до 8 % частицы от 20 до 30 мкм;

- установлено, что снижение износа зерен шлифовального круга при абразивной обработке восстанавливаемых деталей, вследствие очистки СОЖ от механических примесей, приводит к уменьшению до 35 % параметра шероховатости детали. При этом почти в 2 раза снижается скорость её изнашивания, что является одной из характеристик качества восстановления деталей автомобилей.

РАЗДЕЛ 3

МАТЕМАТИЧЕСКИЕ МОДЕЛИ ДИНАМИКИ ЧАСТИЦ В МАГНИТНЫХ ОТСТОЙНИКАХ

Процесс осаждения механических примесей достаточно хорошо изучен и успешно используется для очистки СОЖ в отстойниках [111,112]. Несмотря на это, прогнозирование работы отстойников при их проектировании, в особенности при осаждении неоднородных взвесей, применяется недостаточно широко. Это объясняется сложностью математического описания процесса осаждения, зависящего от большого числа взаимодействующих факторов: концентрации механических примесей и показателей их осаждения, характера потока жидкости внутри отстойника и др. Использование математических моделей, основанных на единственном параметре (например, времени пребывания механических примесей в отстойнике) отражает только средние показатели работы отстойника и дает лишь качественное представление о процессе.

3.1. Постановка динамической задачи расчета движения извлекаемых частиц

Для расчета необходимой силы извлечения, обеспечивающей попадание некоторого извлекаемого тела на поверхность полюсной системы отстойника в процессе извлечения, необходимо решить сложную динамическую задачу о движении частицы через жидкую среду (рис. 3.1). Ниже приведен краткий анализ существующей информации по извлечению частиц механических примесей из СОЖ и других жидкостей.

На частицу, которая движется в потоке вязкой немагнитной жидкости по оси y под воздействием магнитного поля, кроме силы сопротивления среды F_c , действуют силы тяжести и Архимеда F_T , магнитного поля F_m , магнит-

ной коагуляции F_k (рис 3.2).

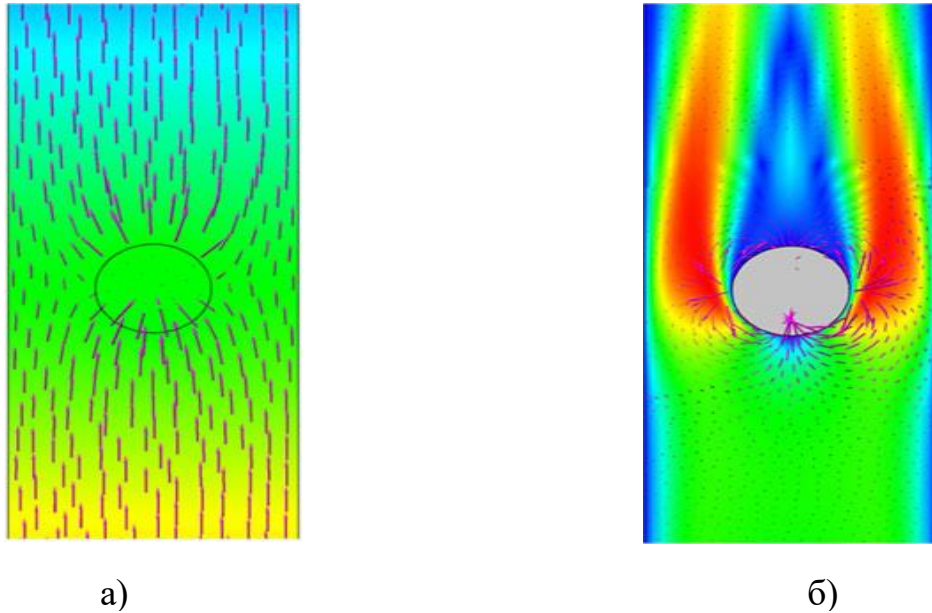


Рис. 3.1. Взаимодействие жидкости с частицами во внешнем магнитном поле

а) векторы – напряженность магнитного поля; б) векторы – силы, действующие на частицу.

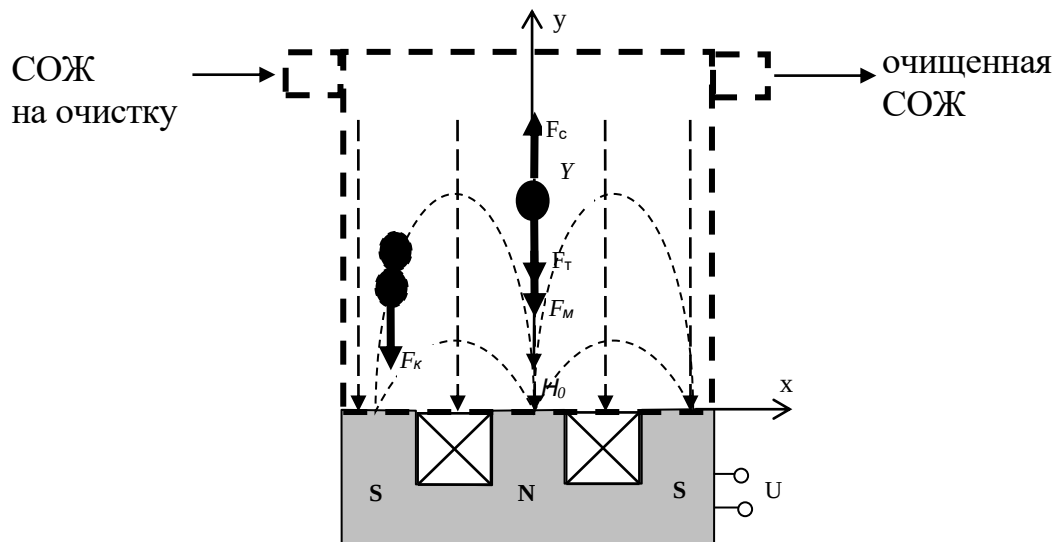


Рис 3.2. Силы, действующие на частицу в рабочей зоне отстойника: F_c – сила сопротивления среды, Н; F_T – сила тяжести, Н; F_M – сила магнитного поля, Н; F_k – сила коагуляции, Н; Y – расстояние от поверхности полюса, м; H_0 – напряженность на полюсе системы, А/м.

Поскольку извлечение частицы представляет собой динамический процесс, то в основу расчета такого движения может быть положено уравнение динамики по второму закону Ньютона.

Если составить и решить уравнение, включающее воздействующие силы, то можно получить траекторию движения частицы, которая дает представление об извлечении частиц:

$$\frac{d}{dt}(m\vec{v}_c) = F_c + F_T + F_m + F_k, \quad (3.1)$$

где m - масса частицы, кг;

$\vec{v}_c$ - скорость частицы, м/с.

По мнению некоторых авторов [53,113,114] такой подход к решению, без оценки каждой из сил приводит к неоправданному усложнению и получению громоздких уравнений. При этом исключается возможность вывода итоговых уравнений, характеризующих магнитный захват частиц, в аналитическом виде, а также уравнений, удобных в инженерных расчетах. Поэтому для создания новых или усовершенствования существующих расчетов, прежде всего, необходимо рассмотреть основы теории и сделать анализ методов используемых в настоящее время.

3.2. Теоретические основы теории взаимодействия частиц с магнитным полем

В горизонтальных отстойниках подача и слив жидкости производится непрерывно, без каких-либо подающих и перемешивающих устройств, следовательно, движение среды является установившимся или ламинарным, т.е. скорость частиц v_c совпадает со скоростью потока v_n в любой его точке [115,116].

Отношение сил инерции к силам трения, возникающим при движении

частицы в жидкой среде, характеризуется числом Рейнольдса, величина которого должна быть меньше единицы [73]:

$$\text{Re} = \frac{d_q \cdot v_q \cdot \rho_c}{\eta_c} < 1, \quad (3.2)$$

где d_q - диаметр частицы, м;

ρ_c - плотность среды, кг/м³;

η_c - динамическая вязкость жидкости, Па·с.

С учетом (3.2) обуславливается применимость закона сопротивления среды F_c , определяющейся по закону Стокса [117,118]:

$$F_c = 3 \cdot \pi \cdot d_{\div} \cdot \eta_N \cdot (v_i - v_{\div}) \cdot k_{\delta}, \quad (3.3)$$

где v_n - скорость потока жидкости, м/с;

k_{ϕ} - динамический коэффициент формы частицы.

При движении на частицу действуют сила тяжести и сила Архимеда [118,119]:

$$F_T = V \cdot g \cdot (\rho_{\div} - \rho_n), \quad (3.4)$$

где V - объём частицы, м³;

g - ускорение свободного падения, м/с²;

ρ_q - плотность частицы, кг/м³.

В настоящее время силу магнитного поля, действующую на частицу в очистителях различных конструкций, определяют из выражения [81,120,121]:

$$F_m = \mu_0 \cdot \chi \cdot V \cdot H \cdot \text{grad} l, \quad (3.5)$$

где μ_0 - магнитная постоянная, $\mu_0 = 4\pi \cdot 10^{-7}$ Гн/м;

χ - магнитная восприимчивость частицы; м³/кг;

H - напряженность магнитного поля, А/м;

$grad\ H$ - скорость изменения магнитного поля в направлении движения частицы, А/м².

Для магнитных материалов χ является функцией напряженности магнитного поля. При любых значениях H , магнитная восприимчивость ферромагнитных материалов может в сотни тысяч раз превосходить магнитную восприимчивость диамагнитных материалов, следовательно, магнитная сила F_m , действующая на магнитное тело в неоднородном поле, будет в сотни тысяч раз больше силы, действующей на частицу из диамагнитного материала. На этом и основано извлечение магнитных частиц (металлических частиц) из жидких сред [122].

Вывод формулы (3.5), принятый в теории, базируется на энергетическом методе, основу которого составляет использование формулы энергии для диа- и парамагнетиков в магнитном поле. Однако, поскольку магнитные отстойники предназначены, в основном, для извлечения ферромагнетиков, то в этом случае такой энергетический подход требует уточнения. Кроме того, для системы "источник магнитного поля — перемещающийся ферромагнетик" задача о балансе энергий в общем случае (без допущений о постоянстве токов или потокосцеплений источника) не решена, что создает определенные трудности применения энергетического метода к системе "отстойник - извлекаемая частица".

При практическом использовании формулы (3.5) рекомендуется произведение $H \cdot grad\ H$ рассчитывать для точки, соответствующей центру тяжести извлекаемой частицы. Однако это позволяет получить точный результат лишь для случая, когда во всем объеме извлекаемой частицы выполняется условие $H \cdot grad\ H = const$. В магнитных полях реальных конструкций отстойников произведение $H \cdot grad\ H$ непостоянно, но погрешность практическо-

го использования формулы (3.5), может быть уменьшена, например, умножением силы F_m на некоторый поправочный коэффициент [123,124].

Так в работе [123] моделированием магнитных частиц показано, что расчет силы магнитного поля F_m может быть осуществлен по традиционной формуле (3.5) с корректировкой результата специальным коэффициентом, который введен в формулу (3.5).

Получено аналитическое соотношение для коэффициента k_F , при практическом использовании которого необходимо учитывать его зависимость от размеров частиц и расстояния частицы к поверхности полюсов магнитной системы [123]:

$$\hat{e}_F = \frac{2}{3} \cdot \frac{[Y^2 + 0,25 s_i^4]^{1,5}}{d_{\pm} s_i} \cdot \left[[Y^2 + 0,25 (s_i - d_{\pm})^2]^{1,5} - [Y^2 + 0,25 (s_i + d_{\pm})^2]^{1,5} \right], \quad (3.6)$$

где s_n - межполюсный шаг, м.

Поскольку проектирование магнитных отстойников, связано преимущественно с выбором такого варианта конструкции, который обеспечивает наибольшую силу извлечения (для этого не требуется знать абсолютных значений сил извлечения, требуется лишь учитывать отношение сил для различных вариантов), то в практике проектирования магнитных отстойников поставленная задача решается экспериментальным путем [125,126].

Известны решения этой задачи, как аналитическое [127], так и методом математического моделирования [128-131]. Эти расчеты базируются на приближенных теоретических моделях и дают лишь частные решения.

Разумеется, при расчете магнитных отстойников можно применять и другие формулы, однако применимость формулы (3.5) представляется наиболее удобным по нескольким причинам: при малых размерах магнитной частицы ее можно охарактеризовать постоянным для всего объема частицы параметром χ (зависящим только от материала, формы и соотношения размеров частицы); во вторых формула (3.5) содержит одну характеристику магни-

тного поля - напряженность H , для определения которой, исходя из проведенного анализа, существуют различные расчетные методы и непосредственного измерения.

Как известно движение для вывода частиц из дисперсной среды силами магнитного поля включает в себя (рис 3.3): а) ориентацию (разворот) по силовым линиям поля (элементы вращательного движения); б) коагуляцию, в) осаждение частиц.

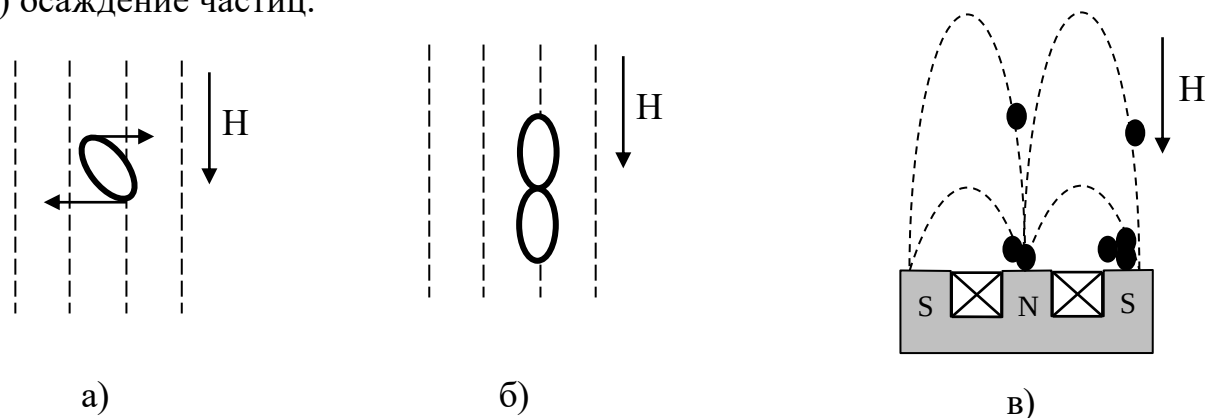


Рис. 3.3. Схема осаждения частиц в рабочей зоне отстойника силами магнитного поля.

Осаждение мелких частиц (менее 30 мкм) в жидких средах связано с некоторыми особенностями. Частицы обладают высокой поверхностной энергией, что приводит к адгезионному слипанию частиц (коагуляции). Для сильномагнитных частиц характерно также возникновение магнитной коагуляции.

Магнитная коагуляция положительно сказывается на извлечении мелких магнитных частиц, так как магнитная восприимчивость флоккулы выше, чем у отдельной частицы. При попадании частиц в магнитное поле они укрупняются, образуя флоккулы игольчатой структуры, которые двигаются в направлении большей напряженности поля. Отмечается также, что во флоккулах запутываются немагнитные, особенно тонкие частицы [132].

Разработкой математической модели коагуляции частиц занимались такие ученые как Л.А. Ломовцев [133], В.И. Просвирнин, Ю.А. Измоленов, В.В. Кармазин [134], К.А. Шарапов [135] и др. В работе также рассматривался процесс коагуляции частиц в магнитном поле [9].

В работе [136] рассмотрена математическая модель коагуляции частиц в магнитном поле на основе закона Кулона. Приведена система уравнений, которая отражает основные динамические характеристики коагуляции частиц: скорость и расстояние, при которых они взаимодействуют.

Согласно [136] для частиц формы шара ($\mu_c = 1$ для всех сред, кроме магнитных), F_k из (3.1) примет вид:

$$F_k = \frac{\pi^3 \cdot \mu_0 \cdot d_{c1}^2 \cdot d_{c2}^2 \cdot H^2}{9 \cdot R_k^2} \cdot \left(\frac{\chi}{1 + N \cdot \chi} \right)^2, \quad (3.7)$$

где R_k – расстояние между частицами, м;

N – коэффициент размагничивания частицы.

Предложенную методологию изучения магнитного воздействия на частицы авторы рекомендуют применять и при изучении воздействия на неоднородные дисперсные системы электрическими, ультразвуковыми и другими силовыми полями. В тоже время частицы, находясь в магнитном поле, перемещаются и в любой момент времени имеют определенные значения пути и скорости. Поэтому решить численным методом уравнение (3.8) даже при известных начальных условиях невозможно.

Исходя из выше приведенного, можно сделать вывод, что существующие методы расчета не корректны, вследствие сложности математического описания процесса осаждения частиц в отстойниках. Поэтому необходимы дополнительные, как теоретические, так и экспериментальные исследования.

3.3. Методика расчета магнитных отстойников

3.3.1. Определение показателя чистоты СОЖ

Устанавливаемые на станках системы очистки СОЖ не всегда обеспечивают необходимые для увеличения срока службы тонкость и степень очис-

тки. То есть качество очистки СОЖ должно обеспечивать необходимый параметр обрабатываемой поверхности деталей [137-140]. При этом такое качество очистки бывает недостаточным для увеличения срока службы СОЖ. Одними из устройств очистки технических жидкостей от механических примесей являются отстойники, в основе которых лежит принцип гравитации – действие на частицы только массовых сил тяжести.

В случае если частицы магнитные, то применение соответствующего поля для интенсификации процесса очистки наиболее эффективно.

Говоря о высокой степени очистки СОЖ в отстойнике, нельзя утверждать о высоком качестве очистки СОЖ, так как при увеличении входной концентрации частиц δ_{ex} увеличивается и их проскок через аппарат. Поэтому определяющей характеристикой отстойника является выходная концентрация частиц в очищенном потоке или согласно [109] δ_{ex} , показатель чистоты СОЖ.

Основываясь на имеющейся информации, согласно теории [132,136] и практики применения отстойников, был сформулирован расчет показателя чистоты СОЖ δ_{ex} после очистки в магнитном отстойнике, с учетом явления магнитной коагуляции.

Предварительно рассмотрим осаждение частиц в отстойнике, когда СОЖ не обрабатывается магнитным полем (рис. 3.4). Движение одиночных частиц происходит по оси y , тогда уравнения их движения примут вид:

$$\frac{dY}{dt} = -v_y, \quad -\frac{dn}{dt} = \frac{1}{h} n \cdot v_y, \quad (3.8)$$

где n – количество частиц.

Скорость осаждения частиц v_y определяется, исходя из сил тяжести и сопротивления среды (3.3) (3.4):

$$v_y = \frac{d_p^2 \cdot g \cdot (\rho_r - \rho_c)}{18\eta}. \quad (3.9)$$

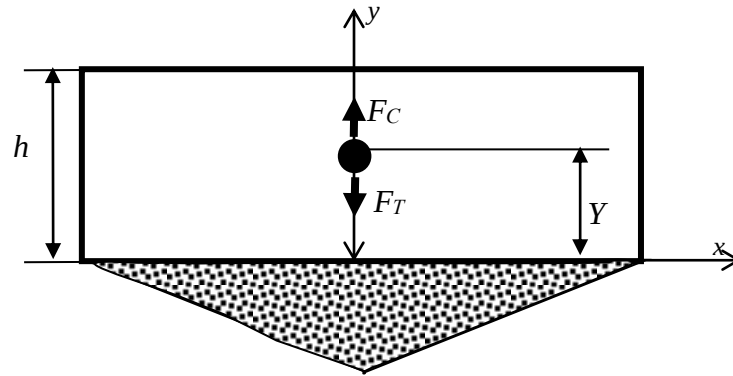


Рис.3.4. Схема сил, действующих на частицу без влияния магнитного поля.

Скорость потока v_n жидкости в каждой точке пространства не изменяется со временем, трения между стенками отстойника и жидкостью нет, так как слой жидкости у стенок отстойника неподвижен, а существует только внутреннее трение, обусловленное вязкостью самой жидкости:

$$v_n = 6 \cdot \frac{v_{cp}}{h} \cdot \left(Y - \frac{Y^2}{h} \right), \quad (3.10)$$

где v_{cp} - средняя скорость потока, м/с;

h - высота отстойника, м.

Тогда путь, пройденный частицей в направлении оси x (при $v_x = v_n$) определится:

$$-\frac{dx}{dt} = 6 \cdot \frac{v_{cp}}{h} \cdot \left(Y - \frac{Y^2}{h} \right). \quad (3.11)$$

Уравнение движения частиц в магнитном поле (без учета сил коагуляции) примет вид:

$$\begin{aligned} \frac{dY_m}{dt} &= -v_m; & -\frac{dn_m}{dt} &= \frac{1}{h} n_m \cdot v_m; \\ -\frac{dn_m}{dt} &= \frac{\lambda \cdot \rho_q \cdot \rho_c}{2 \cdot m} \cdot v_m^2 - \frac{\mu_0 \cdot \chi \cdot V}{m} \cdot H \cdot \frac{dh}{dY}; \\ \frac{d\tilde{q}}{dt} &= \frac{6 \cdot v_i}{h} \cdot \left(Y_i - \frac{Y_i^2}{h} \right), \end{aligned} \quad (3.12)$$

где n_m - количество магнитных частиц.

Приведенные зависимости справедливы также и при образовании флоккул. Как показали наши исследования (раздел 4), флоккулы образуются в виде цепочек из частиц и осаждаются после снятия поля ориентировано. Поэтому приближенно можно принять, что диаметр флоккулы равен диаметру частиц ($d_\phi = d_u$); объем флоккулы $V_\phi = m \cdot n_\phi$, при этом $\rho_\phi = \rho_u$, тогда уравнения (3.12) примут вид:

$$\begin{aligned} \frac{dY}{dt} &= -v_\phi, & -\frac{d\eta}{dt} &= \frac{1}{h} n_\phi \cdot v_\phi, \\ -\frac{dn_\phi}{dt} &= \frac{\lambda \cdot \rho_u \cdot \rho_c}{n_\phi} \cdot v_\phi^2 - \frac{\mu \cdot \chi \cdot V_\phi \cdot H}{n_\phi} \cdot \frac{dh}{dY}, \\ \frac{d\tilde{\phi}}{dt} &= \frac{6 \cdot v_i}{h} \cdot (Y - \frac{Y_\phi^2}{h}), \end{aligned} \quad (3.13)$$

где n_ϕ - количество образовавшихся флоккул.

Скорость осаждения флоккул v_ϕ определяем по выражению:

$$v_\phi = n_\phi \cdot (\rho_u - \rho_c) \cdot \frac{d_\phi^2 \cdot g}{18\eta}. \quad (3.14)$$

Количество образовавшихся флоккул n_ϕ определяем с учетом методики описывающей коагуляцию частиц в магнитном поле [136] по выражению:

$$n_\phi = 3 \sqrt{\frac{\delta_M}{\delta_{M\kappa}}}, \quad (3.15)$$

где δ_M - концентрация магнитных частиц, г/л;

$\delta_{M\kappa}$ - необходимая концентрация магнитных частиц для образования флоккул, г/л.

Необходимую концентрацию магнитных частиц для образования флоккул $\delta_{M\kappa}$ определяем из выражения:

$$\delta_{ie} = \frac{\pi}{6} \cdot \rho_{\dot{\tau}} \cdot \frac{1}{\left(1 - \frac{v_i \cdot d_{\dot{\tau}} \cdot \rho_{\dot{\tau}}}{9 \cdot \eta_c}\right)^3}, \quad (3.16)$$

где v_m - максимальная скорость осаждения частиц, м/с.

Максимальная скорость осаждения частиц определяется по формуле:

$$v_i = \sqrt{\left(\frac{9 \cdot \eta_h}{d \cdot \rho_{\dot{\tau}}}\right)^2 + \frac{2 \cdot \pi^2 \cdot \mu_0 \cdot \chi^2 \cdot H^2}{3 \cdot \rho_{\dot{\tau}}}} - \frac{9 \eta_c}{d \rho_{\dot{\tau}}}. \quad (3.17)$$

Степень чистоты СОЖ определяется из выражения:

$$C_q = \frac{n_n - n_k}{n_n}, \quad (3.18)$$

где n_n, n_k - количество частиц (начальное и конечное значения, соответственно).

Конечное количество частиц определяем из выражения:

$$n_{\dot{\tau}} = n_{\dot{\tau}} \cdot \exp\left[-\frac{t_{\dot{\tau}\dot{\tau}} \cdot V \cdot g \cdot (\rho_{\dot{\tau}} - \rho_c)}{h \cdot 3 \cdot \pi \cdot d \cdot \eta_c}\right], \quad (3.19)$$

где $t_{\dot{\tau}\dot{\tau}}$ - время нахождения жидкости (частиц) в отстойнике, с.

Тогда степень чистоты СОЖ с учетом выражения (3.18) равно:

$$\tilde{N}_{\dot{\tau}} = 1 + \left\{ \exp\left[-\frac{t_{\dot{\tau}\dot{\tau}} \cdot (\rho_{\dot{\tau}} - \rho_c) \cdot \frac{d^2 \cdot g}{18 \eta_c}}{h}\right] \right\}. \quad (3.20)$$

Степень чистоты СОЖ при наложении магнитного поля, определится:

$$C_{\dot{i}} = 1 - \left\{ \exp \left[-\frac{t_{\dot{a}\dot{a}}}{h} \cdot \eta_{\dot{b}} \cdot (\rho_{\dot{c}} - \rho_c) \cdot \frac{d_{\dot{b}}^2 \cdot g}{18 \eta_c} \right] \right\}. \quad (3.21)$$

На основании гранулометрической характеристики механические примеси в СОЖ содержат определенное количество немагнитных частиц $\delta_{об}$. Также при наложении магнитного поля часть частиц $\delta_{мн}$ не участвует в образовании флоккул и осаждается под действием сил тяжести, поэтому показатель чистоты СОЖ $\delta_{бл}$ при наложении магнитного поля определится:

$$\delta_{бл} = \frac{\delta_{об} - \delta_{мн}}{\delta_{вх}} \cdot C_{\dot{u}} - \frac{\delta_{м} - \delta_{мн}}{\delta_{вх}} \cdot C_{\dot{m}}, \quad (3.22)$$

где $\delta_{вх}$ - входная концентрация примесей, г/л.

Взаимодействие частиц при магнитной коагуляции описывается выражением:

$$\zeta_{\hat{e}} = \frac{\delta_{\dot{i}} - \delta_{\dot{i}\dot{i}}}{\delta_{\dot{i}}}, \quad (3.23)$$

где $\zeta_{\hat{e}}$ - степень коагуляции.

Преобразуем выражение (3.22) с учетом выражения (3.23):

$$\delta_{\hat{a}\hat{u}\hat{o}} = \frac{\delta_{\dot{a}\dot{a}} + \delta_{\dot{u}\dot{u}}(1 - \zeta_{\hat{e}})}{\delta_{\hat{a}\hat{o}}} \cdot \tilde{N}_{\dot{c}} + \frac{\delta_{\dot{i}} \cdot \zeta_{\hat{e}}}{\delta_{\hat{a}\hat{o}}} \cdot \tilde{N}_{\dot{i}}. \quad (3.24)$$

Время коагуляции t_k определяем из выражения:

$$t_{\hat{e}} = \frac{d_{\dot{c}} \cdot \rho_c}{18 \eta_{\dot{m}}} \cdot \ln \left(1 + \frac{9 \cdot \eta_c}{v_{\dot{i}} \cdot d_{\dot{c}} \cdot \rho_{\dot{c}}} - \frac{9 \cdot \eta_c}{v_{\dot{i}} \cdot d_{\dot{c}} \cdot \rho_{\dot{c}}} \cdot \sqrt[3]{\frac{\pi \cdot \rho_{\dot{c}}}{6 \cdot \delta_{\dot{i}}}} \right). \quad (3.25)$$

Подставляя в выражение (3.24) значение степени чистоты СОЖ C_q без наложения магнитного поля (3.18) и при наложении магнитного поля C_{qm} (3.21), получим:

$$\delta_{\hat{a}\hat{u}\hat{o}} = \frac{\delta_{\hat{a}\hat{u}} + \delta_{\hat{u}\hat{o}}(1 - \zeta_{\hat{e}})}{\delta_{\hat{a}\hat{o}}} \cdot \left\{ 1 - \exp \left[-\frac{t_{\hat{a}\hat{u}}}{h} (\rho_{\hat{u}} - \rho_{\hat{o}}) \cdot \frac{d_{\hat{u}}^2 \cdot g}{18 \eta_{\hat{e}}} \right] \right\} + \frac{\delta_{\hat{u}} \cdot \zeta_{\hat{e}}}{\delta_{\hat{a}\hat{o}}} \cdot \left[1 - \exp \left[-\frac{t_{\hat{a}\hat{u}}}{h} \cdot \eta_{\hat{b}} \cdot (\rho_{\hat{u}} - \rho_{\hat{n}}) \cdot \frac{d_{\hat{u}}^2 \cdot g}{18 \zeta_{\hat{e}}} \right] \right]. \quad (3.26)$$

Формула (3.26) позволяет определить значение показателя чистоты СОЖ $\delta_{\hat{a}\hat{u}\hat{o}}$ после очистки в магнитном отстойнике, с учетом явления магнитной коагуляции [8].

3.3.2. Определение проектных размеров магнитопровода и обмоточных данных электромагнита для магнитного отстойника

При проектировании электромагнитов решается задача получения максимального значения силы магнитного поля при минимальных заданных габаритах и потребляемой мощности. Вопросам теории, расчета и конструирования посвящено ряд работ [141-144], однако при конкретном проектировании возникают затруднения, в частности при определении размеров магнитопровода.

Для магнитной системы отстойника была выбрана *III* - образная форма сердечника электромагнита (рис. 3.5) [145,146]. Такая форма позволяет добиться наибольшего магнитного потока в зоне осаждения, что влечет за собой, как увеличение магнитного поля, так и увеличение его градиента, вследствие чего, увеличивается абсолютное значение магнитной силы, действующей как на отдельные частицы, так и на скоагулированные в целом.

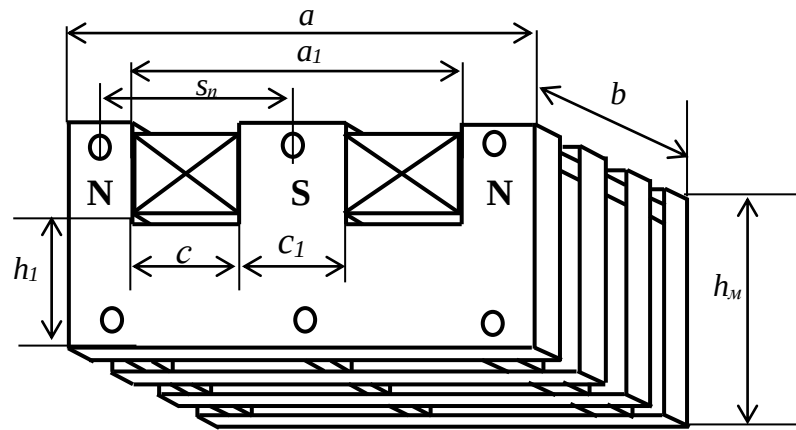


Рис. 3.5. Расчетная схема *III* - образной магнитной системы отстойника: a - длина магнитопровода, м; a_1 - средний диаметр катушки, м; b - ширина магнитопровода, м; h_m - высота магнитопровода, м; h_1 - высота окна обмотки, м; c_1 - ширина полюса, м; c - ширина окна обмотки, м.

Характерной особенностью конструкции магнитопровода является ограничение габаритных размеров (длина и ширина) стандартизованными габаритными размерами отстойников.

Поэтому проектирование электромагнитов заключается в расчете таких геометрических размеров магнитопровода и параметров обмотки намагничивания, которые: во-первых, вписывались в заданный габарит; во-вторых, удовлетворяли условию создания необходимой силы извлечения; в-третьих, обеспечивали безаварийную работу отстойника без перегрева обмотки намагничивания.

Определение проектных размеров и обмоточных данных электромагнита для отстойника устанавливаем на основании данных [147]. Конструктивные размеры магнитопровода находятся в прямой зависимости от величины межполюсного пространства, размеров полюсов, величины магнитной индукции.

Численное значение длины a магнитопровода должно быть задано, т.к. определение габаритных размеров отстойника представляет собой один из этапов выбора очистителя.

При заданном габаритном размере a оптимальное значение a_1 определяется соотношением:

$$a_1 = 0,879a. \quad (3.27)$$

Условие равномерности сечения магнитопровода устанавливается из выражения:

$$\frac{\pi \cdot d^2}{4} = \frac{\pi \cdot (a^2 - a_1^2)}{4}. \quad (3.28)$$

Тогда ширину полюса c_1 определяем из выражения:

$$c_1 = \sqrt{a^2 - a_1^2}. \quad (3.29)$$

Ширина окна обмотки c , определяется из следующего выражения:

$$c = \frac{a_1 - c_1}{2}. \quad (3.30)$$

Межполюсный шаг s_n , определяется по формуле:

$$s_n = c + c_1. \quad (3.31)$$

Высота окна обмотки h_1 , определяется из условия равномерности сечения магнитопровода, согласно данного выражения:

$$h_1 = \frac{c_1}{4}. \quad (3.32)$$

Число витков W , определяется с учетом площади окна $s_{обм}$ обмотки из выражения:

$$W = \frac{k_3 \cdot S_{об.м}}{q_{np}} = \frac{k_3 \cdot (h - h_1) \cdot c}{q_{np}}, \quad (3.33)$$

где k_3 - коэффициент заполнения, б/р;

q_{np} - сечение провода, мм².

Сечение провода q_{np} определяется согласно следующего выражения:

$$q_{np} = \frac{\pi \cdot d_{np}^2}{4}, \quad (3.34)$$

где d_{np} - диаметр обмоточного провода, м.

Длина среднего витка обмотки $l_{ср.витка}$ вычисляется по следующей формуле:

$$l_{ср.витка} = 2 \cdot (\tilde{n}_1 + 2\tilde{n} + b). \quad (3.35)$$

Длина провода обмотки $l_{об.м}$ определяется из выражения:

$$l_{об.м} = l_{ср.витка} \cdot W. \quad (3.36)$$

Сопротивление обмотки $R_{об.м}$, определяется из выражения:

$$R_{об.м} = \rho_{np} \cdot \frac{l_{об.м}}{q_{np}}, \quad (3.37)$$

где ρ_{np} - удельное сопротивление обмоточного провода (медь), Ом·м.

Сила тока в обмотке I вычисляется по следующей формуле:

$$I = J \cdot q_{np}, \quad (3.38)$$

где J - плотность тока в обмотке, $\frac{A}{m^2}$.

Мощность P , потребляемая электромагнитом определяется из выражения:

$$P = I^2 \cdot R_{\text{дв}}. \quad (3.39)$$

Напряжение на обмотке U рассчитывается по следующей формуле:

$$U = I \cdot R_{\text{дв}}. \quad (3.40)$$

Расчет параметров магнитопровода и обмоточных данных электромагнита для магнитного отстойника производился на ПЭВМ при следующих исходных данных: длина отстойника, $L = 0,65$ м; ширина отстойника, $A = 0,12$ м. Расчетные данные представлены в таблице 3.1.

3.3.3. Распределение напряженности магнитного поля в открытых многополюсных системах

Магнитное поле между полюсами создается катушками намагничивания за счет прохождения через них электрического тока I . Если условно принять длину катушки бесконечно большой, то при протекании по ней тока I возбуждается поле, магнитная индукция B , которого будет равна [148-150]:

$$B = \mu_0 \cdot \mu_r \cdot H. \quad (3.41)$$

Распределение напряженности магнитного поля будет подчиняться закону полного тока, для замкнутых магнитопроводов (рис. 3.6) [151,152]:

$$\oint H \cdot dl = \sum I_0 \cdot l_0 + \sum I_3 \cdot l_3, \quad (3.42)$$

где H_0, l_0 – напряженность магнитного поля и длина силовой линии между полюсами в рабочей зоне отстойника;

H_i, l_i – напряженность магнитного поля и длина силовой линии в магнитопроводе.

Таблица 3.1

Параметры III - образной магнитной системы отстойника

Название параметра	Позиционное обозначение	Величина	Единицы измерения
<u>Магнитопровод</u>			
1. Длина магнитопровода	a	650	мм
2. Ширина магнитопровода	b	120	мм
3. Высота магнитопровода	h_m	360	мм
4. Ширина полюса	c_1	80	мм
5. Высота окна обмотки	h_1	280	мм
6. Ширина окна обмотки	c	190	мм
7. Межполюсный шаг	s_n	270	мм
Обмотка			
Марка провода ПЭВ-1			
8. Диаметр обмоточного провода	d_{np}	1,27	мм
9. Плотность тока в обмотке	J	2,5	$\frac{A}{mm^2}$
10. Удельное сопротивление обмоточного провода (медь)	ρ_m	0,0175	Ом·м
11. Сопротивление обмотки	$R_{обм}$	45,1	Ом
12. Коэффициент заполнения	κ_z	0,05	б/р
13. Число витков	W	2800	витки
14. Ток (максимальный)	I_{max}	30	А
15. Напряжение	U	0...220В	В
16. Мощность	P	453	Вт

Так как напряженность в магнитопроводе очень мала, то произведением $H_i \cdot l_i$ можно пренебречь и выражение (3.42) будет иметь вид:

$$I \cdot W = H_0 \cdot l_0 . \quad (3.43)$$

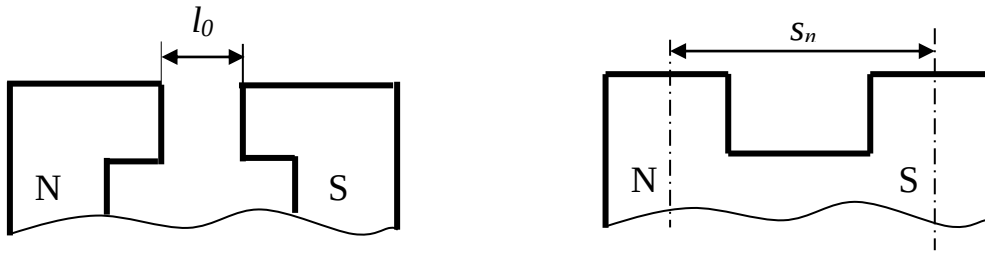


Рис. 3.6. Распределение напряженности магнитного поля.

Согласно данным, приведенным в работе Сочнева А.Я. [153], изменение напряженности поля по нормали к поверхности полюсов определяется из выражения:

$$H=H_0 \cdot e^{\alpha Y}, \quad (3.44)$$

где α - коэффициент неоднородности поля.

Коэффициент α характеризует неоднородность поля в рабочей зоне отстойника. Теоретически можно считать, что коэффициент $\alpha = 1$, тогда $l_0 = s_n$, однако фактически $\alpha > 1$ и, как правило, определяется экспериментально.

Для рассматриваемой магнитной системы коэффициент неоднородности поля зависит от шага полюсов s_n (рис. 3.6) и будет равен:

$$\alpha = \frac{\pi}{s_n}. \quad (3.45)$$

Средняя линия l_0 для открытых систем будет больше в α раз, т.е.:

$$l_0 = s_n \cdot \alpha. \quad (3.46)$$

Дифференцируя выражение (3.44) получим:

$$\text{grad } H = \frac{dH}{dx} = -\frac{\pi}{s_i} \cdot H_0 \cdot e^{\frac{\pi}{s_i} \cdot y}. \quad (3.47)$$

Подставляя значение H из выражения (3.44) и $\text{grad } H$ из выражения (3.47) в зависимость (3.5) получим:

$$F_M = -\mu_0 \cdot \chi \cdot V \cdot \frac{\pi}{s_n} \cdot H_0^2 \cdot e^{\frac{2\pi y}{s_n}}. \quad (3.48)$$

Из выражения (3.48) установлено, что магнитная сила зависит от четырех факторов:

- удельной магнитной восприимчивости частицы;
- напряженности на полюсе;
- расстояния, на котором частица находится от полюса;
- шага полюсов.

Согласно данным [154,155] магнитные частицы характеризуются магнитной χ восприимчивостью:

$$\chi = \frac{\chi_0}{1 + N \cdot \chi_0}, \quad (3.49)$$

где χ_0 - магнитная восприимчивость вещества;

N - коэффициент размагничивания.

$$N = \frac{\lambda \cdot \ln\left(\lambda + \sqrt{\lambda^2 - 1}\right) - \sqrt{\lambda^2 - 1}}{\left(\sqrt{\lambda^2 - 1}\right)}, \quad (3.50)$$

где λ - отношение длины магнитной частицы к ее диаметру.

При этом магнитная восприимчивость частицы определяется не только природой вещества, но и её формой.

Приведенные выше зависимости справедливы, если форма загрязняющей частицы представляет собой правильный шар. В действительности форма загрязняющих частиц может быть любой, что не позволяет теоретически точно определить величину силы сопротивления ее движению в вязкой жидкости. Однако проведенные в данной работе исследования осаждения частиц шарообразной и витой формы (раздел 4), показывают, что влияние формы частицы на скорость осаждения незначительно, поэтому, для простоты математического описания форму частиц можно принять сферической.

3.3.4. Математическая модель движения частиц в магнитном поле отстойников

Движение магнитных частиц в магнитном поле отстойника включает в себя параметры статики, а также скорость, траекторию и время перемещения частиц по вертикали и горизонтали. Такая модель, как правило, универсальна и наиболее полно учитывает законы и закономерности явлений и процесса в целом, поэтому в работе представлен подробный алгоритм ее состава и численного анализа применительно к конкретным условиям разработки и проектирования устройств и систем.

Задача модели движения частиц рассматривается при следующих допущениях: частицы магнитные, имеют форму шара, находятся в магнитном поле в вязкой среде.

Общее математическое уравнение извлечения частиц в магнитном отстойнике будет состоять из выражений, описывающих отдельные движения. Применительно к конкретной системе, создающей магнитное поле, уравнение (3.1) в дифференциальной форме, записанное относительно скорости v_y и траектории (пути) Y , примет вид:

$$\left. \begin{aligned} \frac{dv_Y}{dt} &= \frac{(18\eta_{\bar{n}})}{d_{\bar{+}}^2 \cdot \rho_{\bar{+}}} + \mu_0 \cdot \frac{\chi}{\rho_{\bar{n}}} \cdot \frac{\pi}{s_i} \cdot (H_0)^2 \cdot e^{\frac{2\pi Y}{s}} \\ \frac{dY}{dt} &= v_{\bar{+}} \end{aligned} \right\}, \quad (3.51)$$

с начальными условиями: при $t = 0$; $t(0) = 0$; $v_Y(0) = 0$; $Y(0) = Y$.

С целью определения скорости $v_{\bar{+}}$ времени притяжения $t_{\text{пр}}$ частиц к полюсам магнитной системы, система уравнений (3.51) решались численным методом на ПЭВМ, при варьировании размерами частиц $d_{\bar{+}}$ и напряженности магнитного поля H .

Исходные данные для расчета следующие.

Неизменяемые параметры: магнитная постоянная $\mu_0 = 4 \cdot \pi \cdot 10^{-7} \text{ Гн/м}$; плотность частиц (сталь) $\rho_{\bar{+}} = 7,8 \cdot 10^3 \text{ кг/м}^3$; магнитная восприимчивость частиц, $\chi = 29,14 \cdot 10^{-3} \text{ м}^3/\text{кг}$.

Изменяемые параметры: размер частиц: $d_1 = 5 \cdot 10^{-6} \text{ м}$, $d_2 = 15 \cdot 10^{-6} \text{ м}$; $d_3 = 20 \cdot 10^{-6} \text{ м}$; $d_4 = 30 \cdot 10^{-6} \text{ м}$; напряженность поля: $H_1 = 4,0 \cdot 10^4 \text{ А/м}$; $H_2 = 2,4 \cdot 10^4 \text{ А/м}$; $H_3 = 0,8 \cdot 10^4 \text{ А/м}$.

По результатам расчета построены зависимости $Y = f(t_{\text{пр}})$ и $v_{\bar{+}} = f(t_{\text{пр}})$ приведенные на рис. 3.7-3.12.

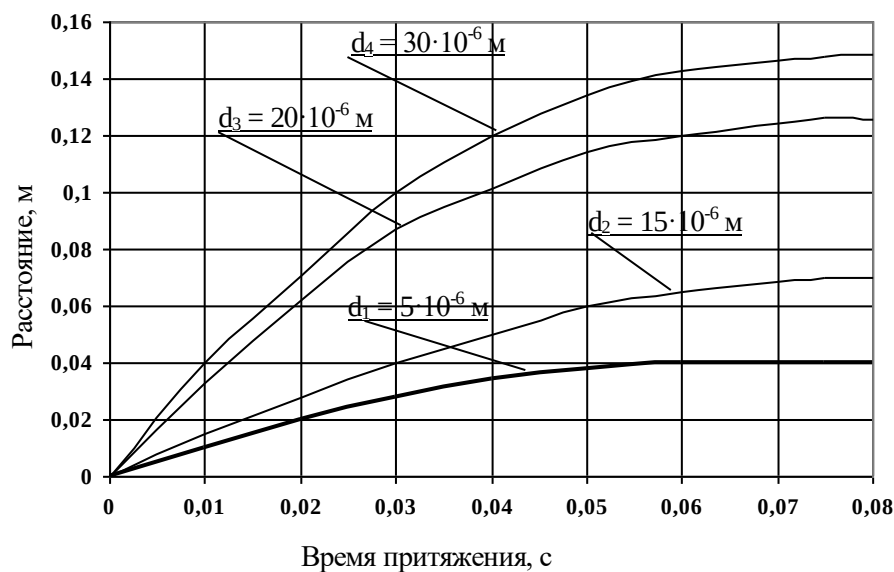


Рис.3.7. Зависимость времени притяжения частиц к полюсу магнитной системы при постоянной напряженности ($H = 4,0 \cdot 10^4 \text{ А/м}$).

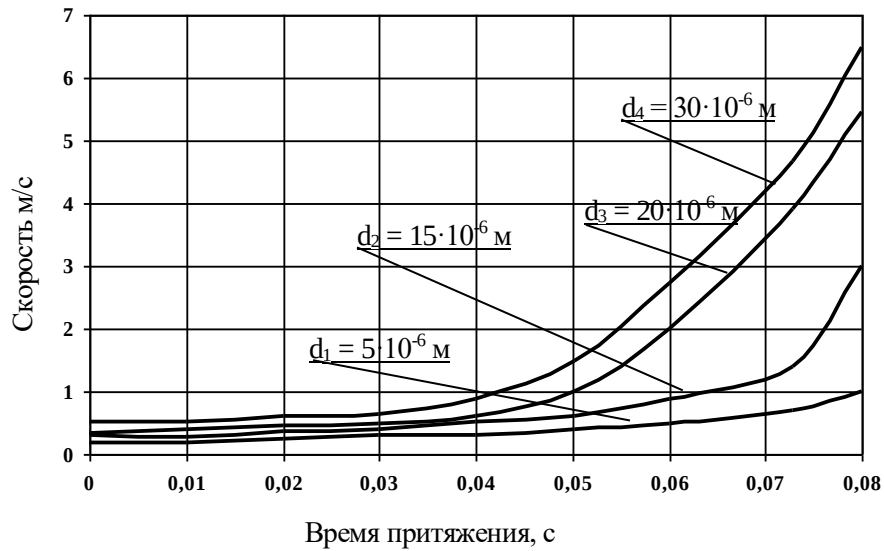


Рис. 3.8. Зависимость изменения скорости притяжения частиц к полюсу магнитной системы от времени при постоянной напряженности ($H = 4,0 \cdot 10^4$). А\м).

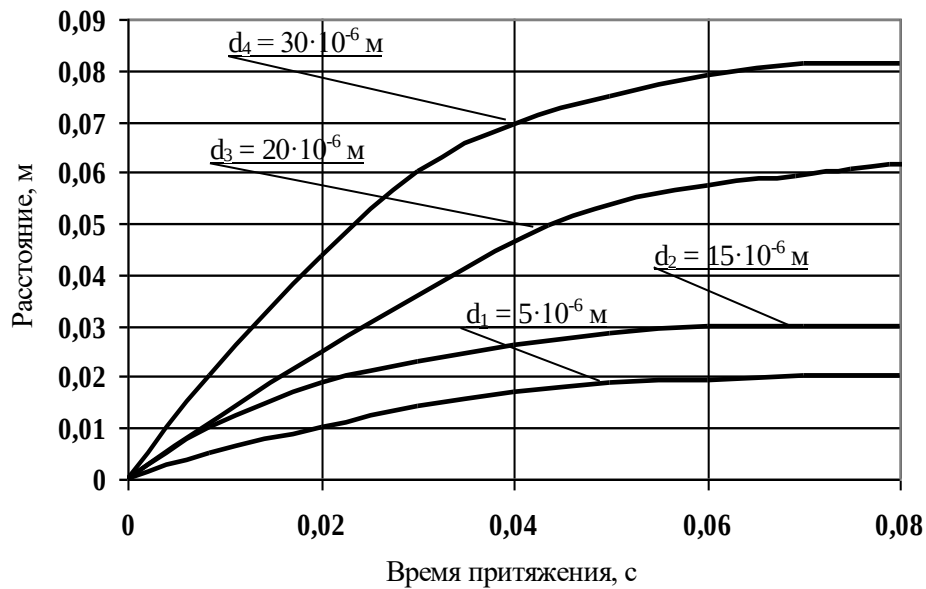


Рис. 3.9. Зависимость притяжения частиц к полюсу магнитной системы от времени при постоянной напряженности ($H = 2,4 \cdot 10^4$ А\м).

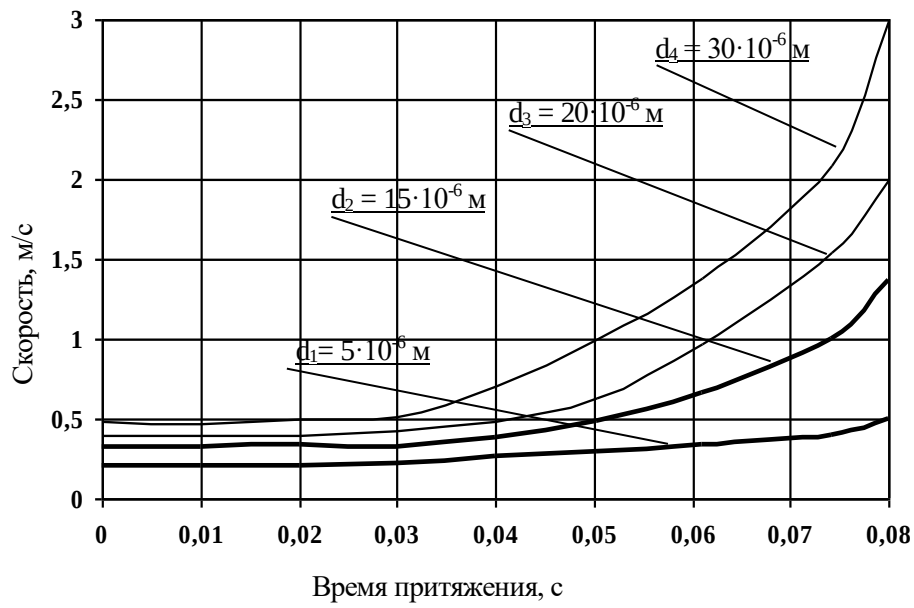


Рис. 3.10. Зависимость изменения скорости притяжения частиц к полюсу магнитной системы от времени при постоянной напряженности ($H = 2,4 \cdot 10^4 \text{ А/м}$).

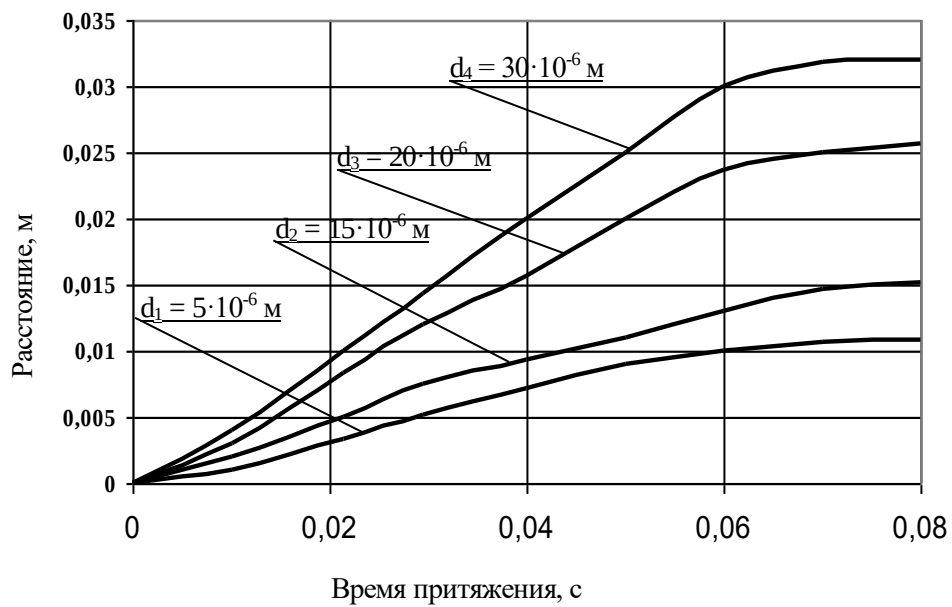


Рис. 3.11. Зависимость времени притяжения частиц к полюсу магнитной системы при постоянной напряженности ($H = 0,8 \cdot 10^4 \text{ А/м}$).

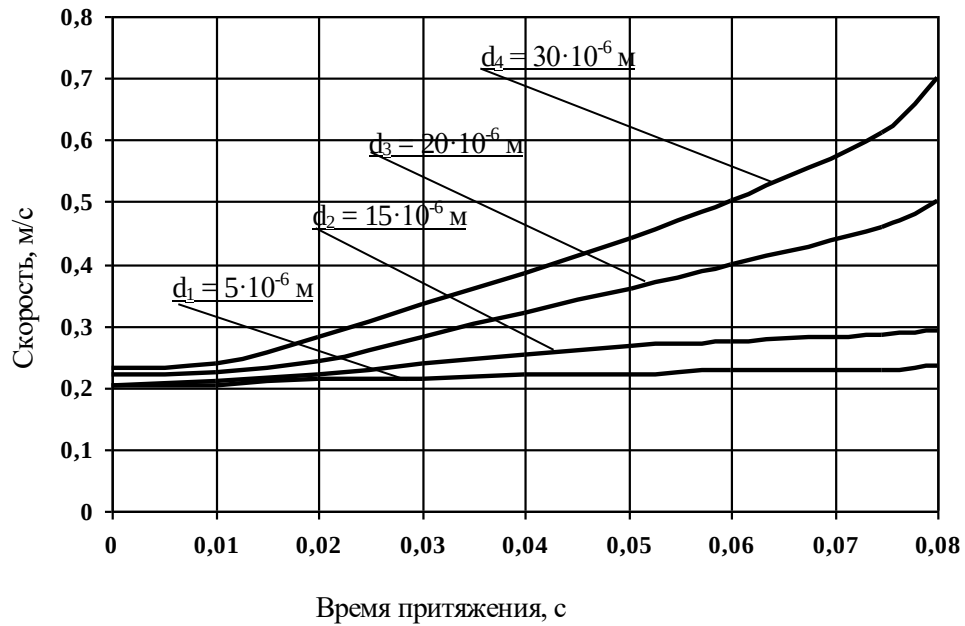


Рис. 3.12. Зависимость изменения скорости притяжения частиц к полюсу магнитной системы от времени при постоянной напряженности ($H = 0,8 \cdot 10^4 \text{ A/m}$).

Анализ полученных данных позволяет установить результирующую зависимость притяжения единичных частиц к полюсу магнитной системы от изменения напряженности $Y = f(H)$ (рис.3.13).

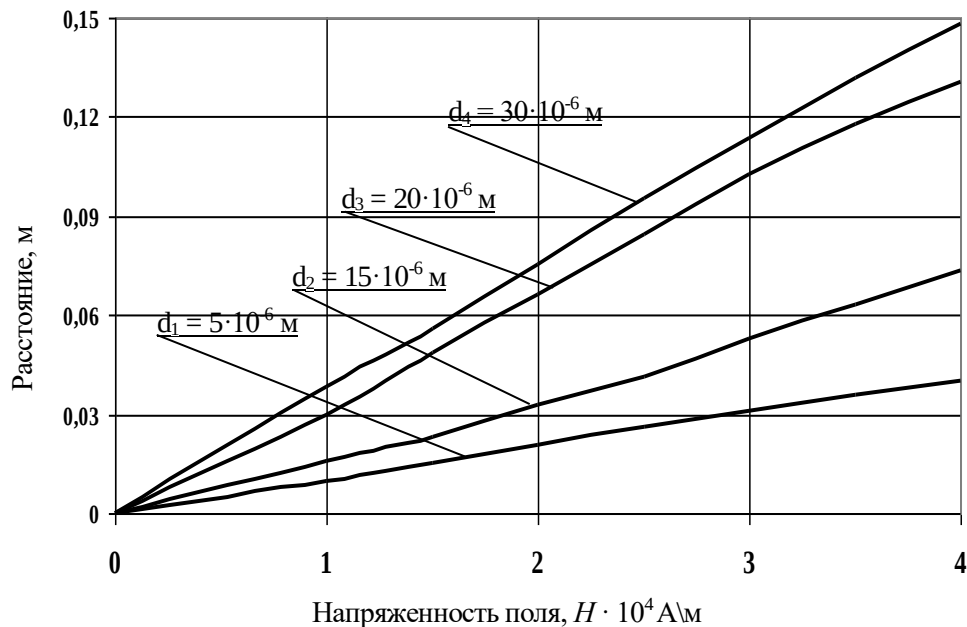


Рис. 3.13. Результирующая зависимость притяжения частиц к полюсу магнитной системы при изменении напряженности поля, H , A/m .

Полученная зависимость показывает, что с уменьшением диаметра частицы d_c уменьшается высота извлечения Y , т. е. при одном и том же значении напряженности H магнитного поля, необходима различная высота h отстойника для извлечения частиц разного диаметра, при этом частицы большего диаметра извлекнутся с большей высоты.

3.4. Рекомендации по разработке новых и совершенствованию существующих магнитных отстойников для извлечения механических примесей из СОЖ

Метод расчета магнитных отстойников для извлечения механических примесей из СОЖ рекомендуется использовать как при разработке новых конструкций и систем, так и при совершенствовании существующих.

Общая схема расчета магнитного отстойника заключается в следующем: исходя из конкретной конструкции отстойника определяется эффективность очистки СОЖ, которая выражается временем притяжения t_{np} частицы к полюсам магнитной системы за время нахождения частицы $t_{\partial\theta}$ в отстойнике:

$$t_{\partial\theta} < t_{np} \quad (3.52)$$

Время нахождения частицы $t_{\partial\theta}$ в отстойнике, определяется, учитывая, что производительность отстойника равна [127]:

$$V_o = v_n \cdot A \cdot Y, \quad (3.53)$$

где A - длина отстойника, м.

Из выражения (3.53) определим скорость потока v_n :

$$v_i = \frac{V_o}{A \cdot Y}. \quad (3.54)$$

Время нахождения частицы $t_{\partial\partial}$ в отстойнике:

$$t_{\partial\partial} = \frac{A}{v_i}. \quad (3.55)$$

Значение показателя чистоты СОЖ $\delta_{\partial\partial}$ после очистки в отстойнике, с учетом явления коагуляции определяется по формуле (3.26).

Варьируя параметрами частиц d_{∂} , и магнитного поля H и дифференцируя полученную математическую модель, определяются как конструктивные (габариты отстойника, ампервитки и т.д.) так и другие технологические характеристики (скорость движения СОЖ, время нахождения частиц), которые позволяют получить данные, необходимые для проектирования и эксплуатации магнитного отстойника.

Для отстойника с габаритными размерами: длина $L = 0,65$ м; ширина $A = 0,12$ м, высота $h = 0,45$ м, производительностью от 10 до 12 л/мин, определяем показатель чистоты СОЖ $\delta_{\partial\partial}$ при варьировании следующими параметрами:

- концентрация механических примесей $\delta_{\partial\partial}$ в СОЖ, от 0,25 кг/м³ до 1,0 кг/м³;
- концентрация магнитных частиц δ_{∂} от 0,16 кг/м³ до 0,6 кг/м³;
- концентрация немагнитных частиц $\delta_{\partial\partial}$ от 0,09 кг/м³ до 0,01 кг/м³;
- средний размер частиц d_{∂} от $5 \cdot 10^{-6}$ м до $30 \cdot 10^{-6}$ м;
- плотность частиц $\rho_{\partial} = 7,8 \cdot 10^3$ кг/м³;
- значение тока в обмотке от 5 до 30 А;
- число витков в обмотке магнитной системы $W = 2800$. Напряженность магнитного поля изменялась H от $0,8 \cdot 10^4$ А/м до $4,0 \cdot 10^4$ А/м;
- плотность СОЖ $\rho_c = 8 \cdot 10^2$ кг/м³;
- динамическая вязкость СОЖ $\eta_c = 0,023$ Па·с.

Так как значение степени коагуляции определить численно невозможно

жно, то предварительно принимаем $\zeta_e = 0,9$, время нахождения частиц в отстойнике $t_{\partial\theta} = 30$ с.

Предельные значения показателей чистоты $\delta_{\text{вых}}$ СОЖ в процессе эксплуатации принимаем равным: для чернового шлифования $\delta_{\text{вых}} = 0,4$ г/л, для окончательного $\delta_{\text{вых}} = 0,1$ г/л.

Полученные результаты позволили установить научно обоснованные закономерности для определения показателя чистоты $\delta_{\text{вых}}$ СОЖ после очистки в магнитном отстойнике в зависимости от входной концентрации механических примесей $\delta_{\text{вх}}$, а также от величины тока I в обмотке (рис. 3.14-3.16).

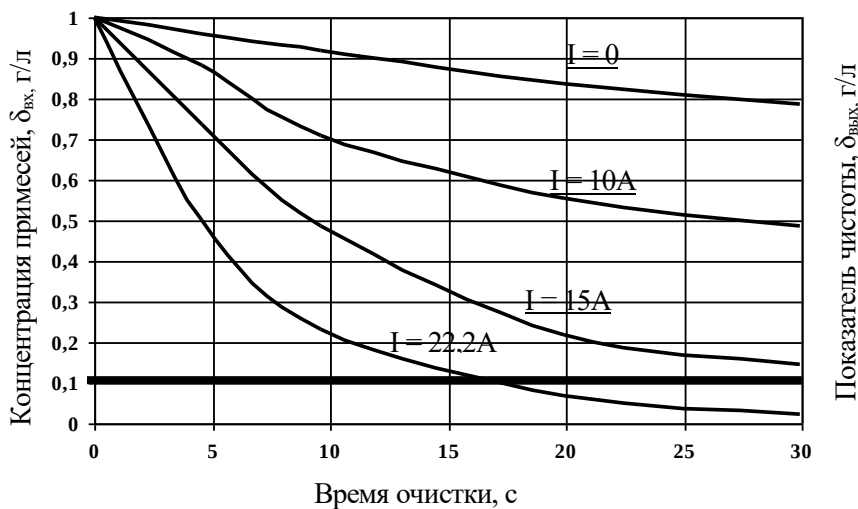


Рис. 3.14. Показатель чистоты $\delta_{\text{вых}}$ СОЖ при изменении значения силы тока в обмотке ($\delta_{\text{вх}} = 1$ г/л).

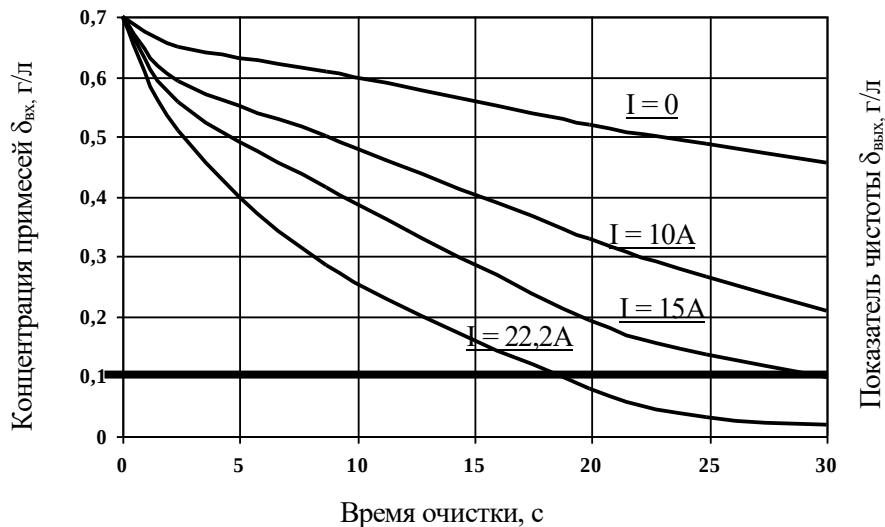


Рис.3.15. Показатель чистоты $\delta_{\text{вых}}$ СОЖ при изменении значения силы тока в обмотке ($\delta_{\text{вх}} = 0,7$ г/л).

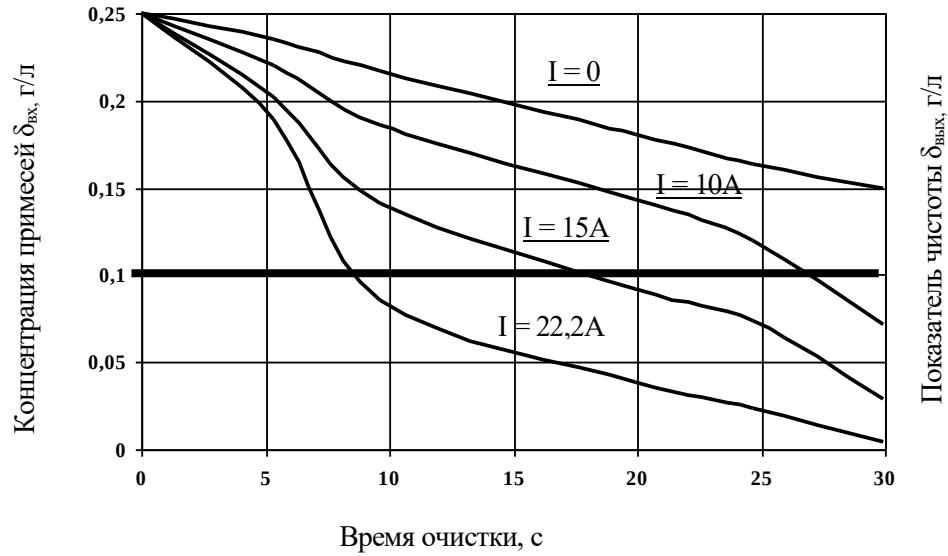


Рис.3.16. Показатель чистоты $\delta_{\text{вых}}$ СОЖ при изменении значения силы тока в обмотке ($\delta_{\text{вх}} = 0,25$ г/л).

Согласно полученным данным можно установить показатель чистоты СОЖ, который зависит от входной концентрации примесей и от величины тока в обмотке I (напряженности H) магнитного поля, а также времени нахождения СОЖ в отстойнике.

Выводы по разделу

Результаты исследований, проведенные в данной главе позволяют сделать следующие выводы:

- на основании теоретических исследований с помощью математической модели извлечения частиц из СОЖ установлена зависимость, определяющая основные динамические характеристики осаждения частиц в СОЖ под действием магнитного поля. Она определяет траекторию перемещения частицы Y в отстойнике к полюсу магнитной системы, время притяжения частицы $t_{\text{пр}}$ и скорость ее осаждения $v_{\text{ч}}$, в зависимости от параметров системы извлечения ($H = \text{от } 0,8 \cdot 10^4 \text{ А/м до } 4,0 \cdot 10^4 \text{ А/м}$), извлекаемых частиц (размер $d_{\text{ч}}$, магнитная восприимчивость χ , плотность $\rho_{\text{ч}}$) и СОЖ (динамическая вязкость $\eta_{\text{с}}$, плотность $\rho_{\text{с}}$);

- впервые разработан метод расчета магнитных отстойников для очистки СОЖ от механических примесей, который учитывает параметры поля, частиц и среды. Это позволяет определить основные конструктивные параметры магнитного отстойника в зависимости от известных технологических параметров СОЖ (динамическая вязкости η_c , плотность ρ_c и т.д.) и электро-технических параметров (числа витков источника поля W , тока в обмотке I , длины обмотки $l_{обм}$) с учетом параметров извлекаемых частиц (размер d_c , магнитная восприимчивость χ);

- получена зависимость позволяющая определить показатель чистоты СОЖ в магнитном отстойнике с учетом явления магнитной коагуляции;

- для получения допустимого значения показателя чистоты $\delta_{вых}$ СОЖ ($\delta_{вых} = 0,1$ г/л) при наличии частиц с размерами в диапазоне $d_c = 5-30$ мкм, необходимо спроектировать магнитный отстойник со следующими параметрами: длина, $L = 0,65$ м; ширина, $A = 0,12$ м, высота, $h = 0,45$ м, число витков обмотки $W = 2800$, ток в обмотке $I = 23-25$ А, мощность $P = 453$ Вт.

РАЗДЕЛ 4

РАЗРАБОТКА И ИССЛЕДОВАНИЯ ВЫСОКОЭФФЕКТИВНЫХ МАГНИТНЫХ ОТСТОЙНИКОВ ДЛЯ ОЧИСТКИ СОЖ ПРИ АБРАЗИВНОЙ ОБРАБОТКЕ ВОССТАНАВЛИВАЕМЫХ ДЕТАЛЕЙ

В основу разработки и модернизации магнитных устройств для очистки СОЖ от механических примесей заложены следующие принципы:

- использование аналогов и прототипов с оптимальными параметрами (простота изготовления, надежность и высокая эффективность при эксплуатации);
- применяемая энергия магнитного поля в рабочих зонах разрабатываемых устройств использовалась таким образом, чтобы силовое воздействие на магнитные частицы максимально способствовало повышению эффективности их извлечения;
- источники питания, а также ряд конструктивных элементов компоновались из выпускаемых серийно агрегатов и узлов магнитных отстойников.

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

4.1. Экспериментальное обоснование динамики перемещения частиц в области магнитного поля отстойника

Математические модели процесса извлечения частиц в магнитном поле и их осаждение на полюсах магнитной системы (раздел 3), методы расчета качественно (раскрытие механизма) и количественно (определение числовых значений параметров), проверялись на специально разработанных установках.

Исследовали перемещение частиц в магнитном поле создаваемом *III* - образной магнитной системой, скорость и время извлечения (осаждения) при разных параметрах напряженности поля, а также другие параметры, необходимые для математического моделирования процессов и расчета магнитных устройств.

Изучение извлечения единичных частиц в магнитном поле осуществлялось фотосъемкой и визуально.

Основными материалами, используемыми при эксперименте, служили: частицы шарообразной и ленточной формы ($\rho_{\text{ч}} = 7,8 \cdot 10^3 \text{ кг/м}^3$, $m_{\text{ч}} = 3 \cdot 10^{-3} \text{ кг}$), а в качестве среды был принят глицерин ($\eta_{\text{с}} = 0,33 \text{ Па}\cdot\text{с}$, $\rho_{\text{с}} = 1,26 \cdot 10^3 \text{ кг/м}^3$). Использование данной формы частиц при эксперименте было обосновано тем, что они не отличаются от формы частиц примесей находящихся в СОЖ [156-158], а использование глицерина дает возможность исследовать динамику поведения одиночных частиц в широком диапазоне крупностей в магнитном поле, что трудно сделать в СОЖ. Основными требованиями к эксперименту были: минимальные материальные затраты и максимальная достоверность полученных результатов.

Схема установки, при помощи которой проводился эксперимент по извлечению частиц в магнитном поле, приведена на рис. 4.1. Установка состоит из электромагнитной обмотки (со следующими параметрами: число витков 354; провод прямоугольного профиля $3,5 \times 2,4 \text{ мм}$; сечение провода $13,2 \text{ мм}^2$; материал провода – медь), блока выпрямительных диодов, амперметра, вольтметра, понижающего трансформатора 220/12, регулировочного трансформатора ЛАТРа.

Исследование извлечения единичных частиц проводилось по следующей методике. Первоначально эксперимент проводился при отсутствии магнитного поля. В стеклянную кювету с глицерином помещалась частица и через определенные участки пути секундомером регистрировалось время ее осаждения.

Изменение напряженности поля H , а следовательно и $gradH$ регулиро-

валась изменением тока I в обмотке электромагнита. При различных значениях силы тока I исследовалось осаждение частиц шарообразной и ленточной формы.

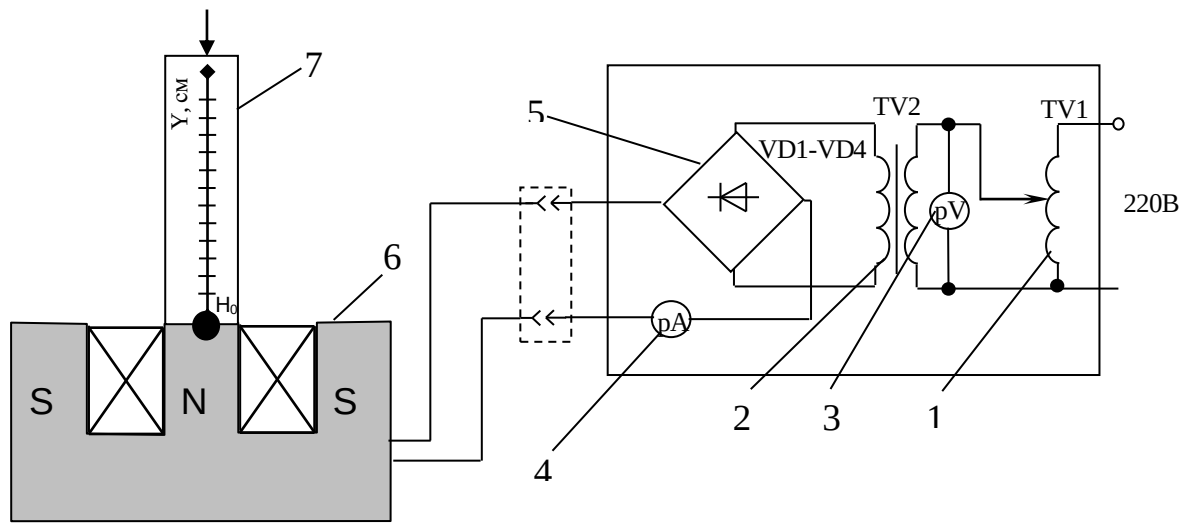


Рис. 4.1. Схема и фотография экспериментальной установки для извлечения частиц.

Таблица 4.1

Перечень оборудования экспериментальной установки

Оборудование	Тип	Количество	Примечание
1. Регулировочный трансформатор	ЛАТР –127/220	1	$U_{\text{ex}} = 0 \dots 220\text{В}$, $I_{\text{max}} = 1,5\text{ А}$.
2. Понижающий трансформатор	ОСОТ 220/12	1	$U_{\text{блх}} = 12\text{В}$.
3. Вольтметр	Э30	1	ГОСТ 8711-60
4. Амперметр	Э421	1	ГОСТ 8711-60
5. Диоды	ЭД245Б - Ш74	4	ГОСТ 9756-78
6. Электромагнит	Изготовлен самостоятельно	1	$W = 354$
7. Кювета с глицерином	Изготовлена самостоятельно	1	$Y = 0,2\text{ м}$

На основании проведенных экспериментов построены усредненные зависимости, показывающие изменение времени притяжения $t_{пр}$ к полюсу магнитной системы частиц различной формы (рис. 4.2).

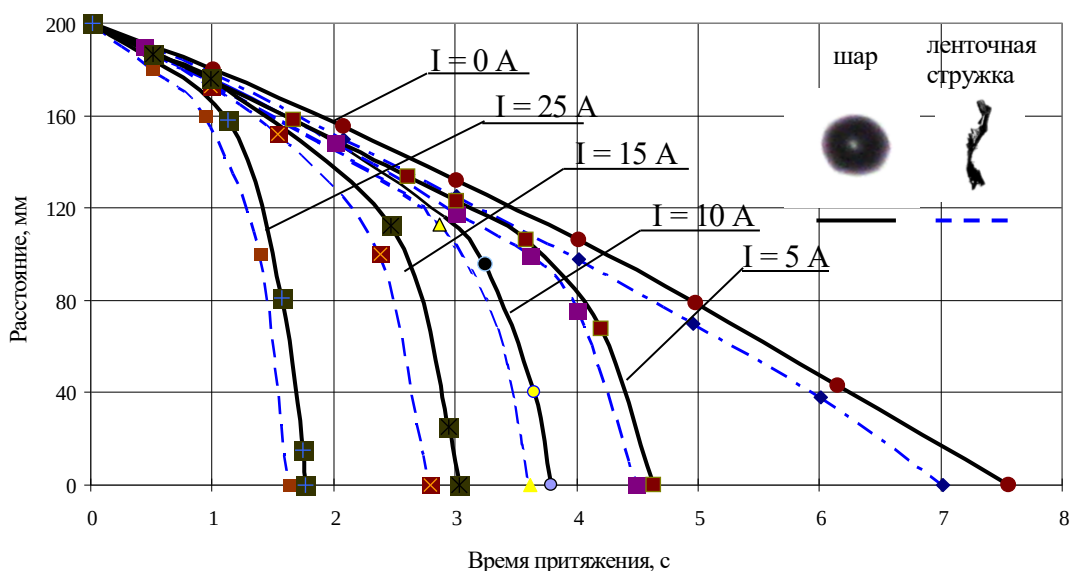


Рис. 4.2. Зависимость времени притяжения частиц от высоты зоны осаждения.

В результате полученных данных были сделаны следующие выводы:

- влияние формы частицы на время притяжения незначительно, поэтому, для простоты математического описания форму частиц принимаем сферической;

- время притяжения частиц к полюсу с увеличением напряженности поля сокращается по сравнению со временем свободного осаждения в 1,7; 2,1 и 5,3 раза при $I = 5\text{A}$; 10A ; 15A ; 25A соответственно.

4.2. Обоснование формы магнитного отстойника

При конструировании отстойников следует руководствоваться следующими основными принципами:

- поток рабочей жидкости должен проходить обязательно через участок наиболее мощного поля магнита;
- поток рабочей жидкости не должен быть турбулентным;

- расположение и концентрация загрязненных частиц, осевших на дно отстойника, не должны оказывать сопротивление потоку рабочей жидкости.

В промышленных магнитных отстойниках (периодического или непрерывного действия) используются устройства, в состав которых входят такие основные элементы: рабочая камера (горизонтальная или вертикальная) и магнитная система (постоянные магниты, электромагниты или их комбинации)[159,160,161-165].

Дополнительно в состав устройства может входить: система загрузки и разгрузки, система контроля качества, контрольно измерительные приборы. Кроме того в состав отстойников могут входить вспомогательные механизмы: привод транспортных устройств и насосов, устройства регулирования напряженности (автотрансформаторы, выпрямители переменного тока), расхода жидкости и т. д. [166-171].

Отстойники необходимо проектировать с механическим или гидравлическим удалением осадка или предусматривать в них гидравлическую систему смыва осадка. Для обмыва стен и днища отстойников следует предусматривать трубопровод с вентилями для присоединения шлангов.

Анализируя существующие конструкции магнитных отстойников, можно сделать вывод, что во всех существующих устройствах градиент магнитного поля всегда имеет постоянное направление, поэтому мелкодисперсные частицы, попадая в рабочую зону, образуют магнитную флоккулу, которая создает шунт, тем самым, перекрывая действие магнитного поля в рабочих зонах, поэтому невозможно создать условия для эффективного извлечения. Кроме того существенным недостатком известных конструкций отстойников является их значительная стоимость из-за большой их металлоемкости и энергоемкости.

Для устранения этих недостатков была разработана полезная модель отстойника [10] в основу, которой поставлена задача усовершенствования существующих конструкций за счет того, что на внутреннюю поверхность рабочей камеры над электромагнитными обмотками установлены немагнит-

ные конусы. Благодаря этим конусам исключается шунтирование полюсов уловленными магнитными примесями и сохраняется постоянной напряженность магнитного поля в рабочей зоне извлечения частиц, что позволяет повысить качество очистки СОЖ и снизить периодичность регенерации.

Таким образом, использование магнитного отстойника предложенной конструкции снижает образование магнитных шунтов и максимально приближает поток жидкости к полюсам отстойника, а это должно позволить увеличить степень очистки СОЖ от механических примесей. Схема предлагаемого магнитного отстойника приведена на рис. 4.3.

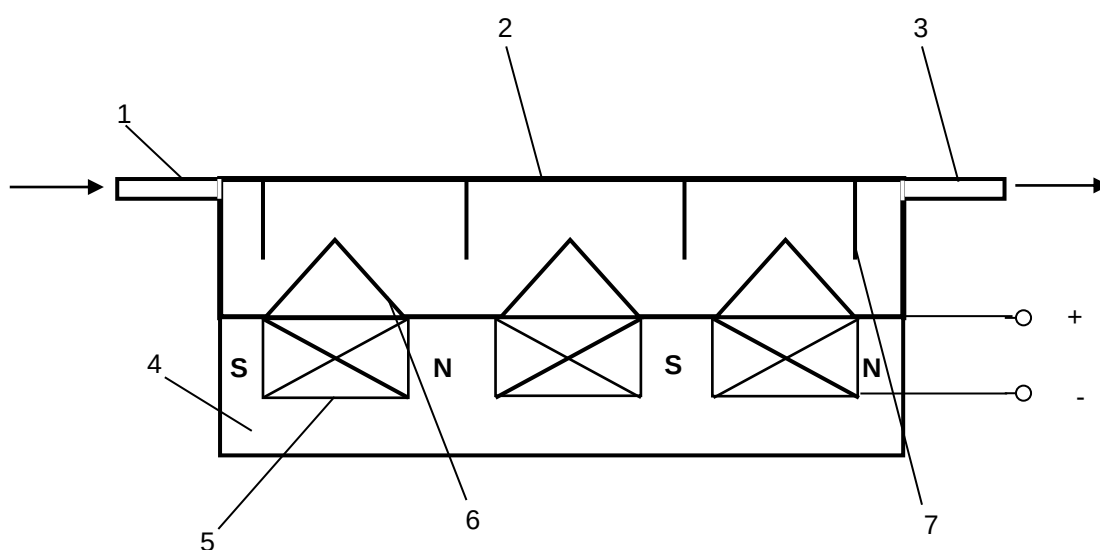


Рис. 4.3. Схема магнитного отстойника: 1 - входной патрубок; 2 - рабочая камера; 3 - выходной патрубок; 4 - магнитопровод; 5 - обмотка; 6 - немагнитные конусы; 7 - немагнитные перегородки.

Предложенное устройство магнитного отстойника работает следующим образом: при подключении обмоток 5 к источнику постоянного тока образуется магнитное поле в рабочей камере 2. Загрязненная жидкость подается через входной патрубок 1 в рабочую камеру 2, где происходит извлечение магнитных примесей с помощью магнитного поля.

Извлечение частиц из СОЖ с помощью магнитного поля включает образование и осаждение флоккул к полюсам магнитопровода. Для предотвращения образования магнитных шунтов между полюсами в магнитопроводе 4 размещены немагнитные конусы 6. Перегородки 7 создают увеличение тур-

булентности жидкости, что позволяет всему потоку перемещаться вблизи полюсов магнитопровода 4. Очищенная жидкость поступает в выходной патрубок 3.

Высоту перегородки 7 можно определить, как сумму высот зоны осаждения и зоны накопления осадка.

При установке в зоне осаждения немагнитных конусов 6, площадь зоны осаждения определяется исходя из удельных нагрузок, отнесенных к площади зеркала жидкости, занятой конусами. Угол между стенками конусов следует принимать 70-80°.

4.3. Обоснование формы магнитной системы отстойника

Как было ранее установлено эффективность магнитного осаждения во многом зависит от того, насколько больше магнитная сила F_m , действующая на частицу, по отношению к силе сопротивления F_c .

В принятом методе извлечения частиц, когда их осаждение происходит в процессе свободного перемещения к полюсам магнита, установлено, что величина силы сопротивления среды F_c снижается до минимума. В этом случае предлагаемый метод извлечения является наиболее предпочтительным.

Для повышения величины магнитной силы F_m необходимо повышение напряженности магнитного поля H (магнитной индукции B) и $grad H$ ($grad B$) в рабочем зазоре. За счет увеличения потребляемой мощности катушкой намагничивания можно повысить напряженность магнитного поля H до заданного значения [153].

$$\dot{I} = \dot{I}_0 \cdot \exp\left(-\pi \cdot \frac{S_i}{Y}\right), \quad (4.1)$$

где H_0 - напряженность на полюсе системы.

Однако, решение этой задачи возможно и другим способом - за счет создания специальной формы рабочего зазора в межполюсном пространстве.

Для усовершенствования конструкции отстойника была разработана электромагнитная система, в магнитопроводе которой с целью охлаждения обмотки и магнитопровода, используются втулки из немагнитного материала, расположенные в местах крепления магнитопровода. Это позволит использовать полную мощность отстойника при извлечении частиц, а также снизить металлозатраты и потребление им электрической энергии [11].

Схема предлагаемого магнитного отстойника представлена на рис. 4.4. Она состоит из рабочей камеры с входным и выходным патрубками; магнитопровода, собранного из *III* - образных пластин, которые собраны в секции; в местах крепления секций установлены немагнитные втулки; в пазах секций магнитопровода установлена и закреплена электрическая обмотка, которая соединена с источником постоянного тока.

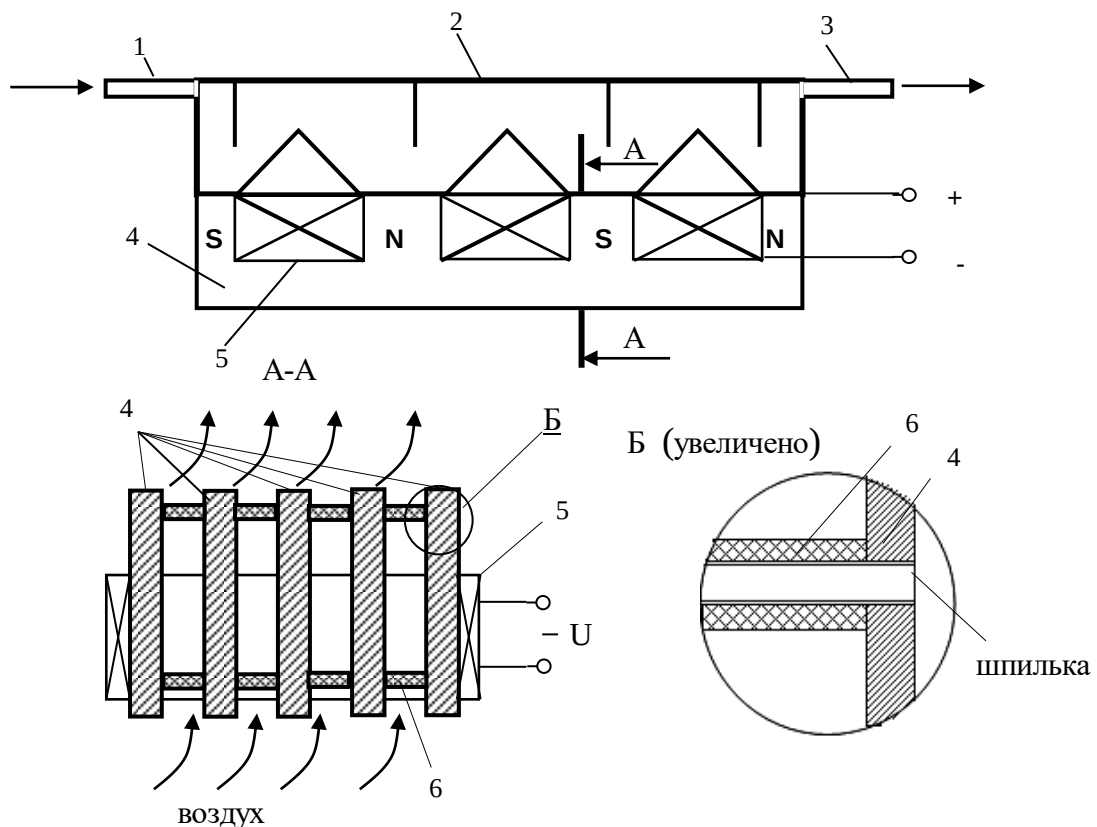


Рис. 4.4. Схема отстойника с *III* - образной формой сердечника электромагнита: 1- входной патрубок; 2 - рабочая камера; 3 - выходной патрубок; 4 - магнитопровод; 5 – обмотка; 6 - немагнитные втулки.

Предложенное устройство работает следующим образом: при подключении электрической обмотки 5 к источнику постоянного тока образуется магнитное поле в рабочей камере 2, которая является отстойником. Загрязненная СОЖ подается через входной патрубок 1 в рабочую камеру 2, где происходит осаждение магнитных частиц под действием сил магнитного поля к полюсам магнитопровода 4. Очищенная СОЖ поступает в выходной патрубок 3. Наличие воздушных зазоров между секциями магнитопровода 4, созданных установленными немагнитными втулками 6, осуществляет охлаждение обмотки 5.

В выполненной работе установлено, что использование такой электромагнитной системы в конструкции отстойника позволит снизить металлозатраты на 40 % и одновременно позволит повысить качество очистки СОЖ от механических примесей. Применение втулок обеспечивает охлаждение обмотки, а это позволит использовать полную мощность и повысить срок службы магнитного отстойника.

4.4. Разработка опытно – промышленной конструкции магнитного отстойника

Согласно полученным результатам представленным в главе 3, разработана *III* - образная магнитная система для отстойника с основными параметрами приведенными в табл. 3.1. Предлагаемая конструкция магнитной системы дает возможность варьировать количеством витков W в обмотке электромагнита.

При разработке конструкции отстойника согласно рекомендациям [76,109], необходимо выполнить следующие требования:

- отношение общей высоты отстойников h к их поперечным размерам L должно быть не меньше 4 - 5.

Уменьшение отношения h / L может привести к тому, что большая часть магнитной силы будет использоваться для создания поля за пределами

отстойника. Кроме этого, необходимо учитывать, что возле стенок отстойника напряженность магнитного поля значительно больше, чем в его центральной части, а это значит, что значительная часть поперечного пересечения отстойника работает с малой интенсивностью, снижая производительность процесса.

Для определения эффективной рабочей зоны отстойника были проведены следующие исследования.

Установка, на которой проводились исследования, включает в себя электромагнит 6; блок выпрямительных диодов 5; амперметр 4; вольтметр 3; понижающий трансформатор 220/12 2; регулировочный трансформатор ЛАТР 1. Схема установки представлена на рис. 4.5.

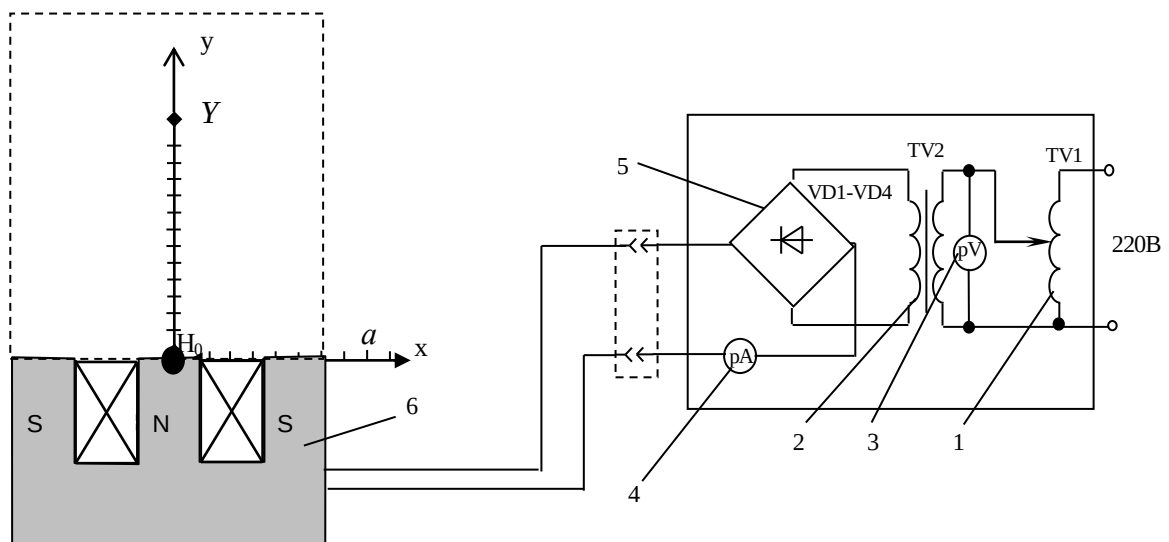


Рис. 4.5. Схема установки для определения эффективной рабочей зоны магнитного отстойника: 1 - регулировочный трансформатор ЛАТР; 2 - понижающий трансформатор 220/12; 3 - вольтметр; 4 - амперметр; 5 - блок выпрямительных диодов; 6 - электромагнит.

Параметры изменения магнитной индукции B определялись с помощью электроизмерительного прибора для контроля магнитных полей ЭМ4305 (рис. 4.6).

Изменение напряженности поля H , а следовательно и $grad H$ регулировалось изменением тока I в обмотке электромагнита.

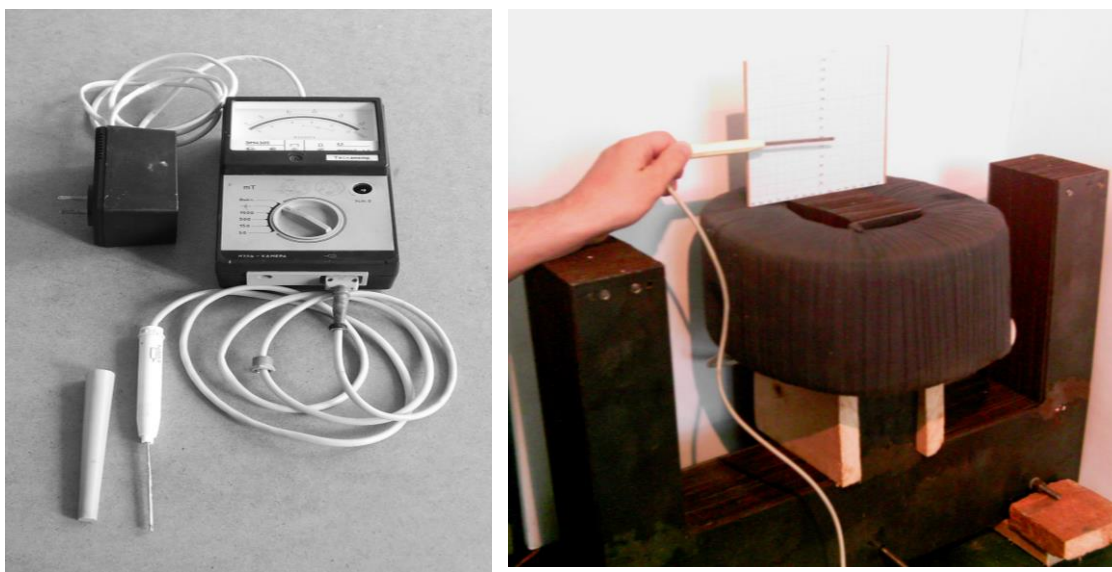


Рис 4.6. Измерения магнитной индукции электроизмерительным прибором для контроля магнитных полей ЭМ4305.

По данным эксперимента, обработанных на ПЭВМ, построены зависимости изменения магнитной индукции B от высоты рабочей зоны Y (рис. 4.7) и изменения магнитной индукции B от длины магнитопровода a (рис. 4.8).

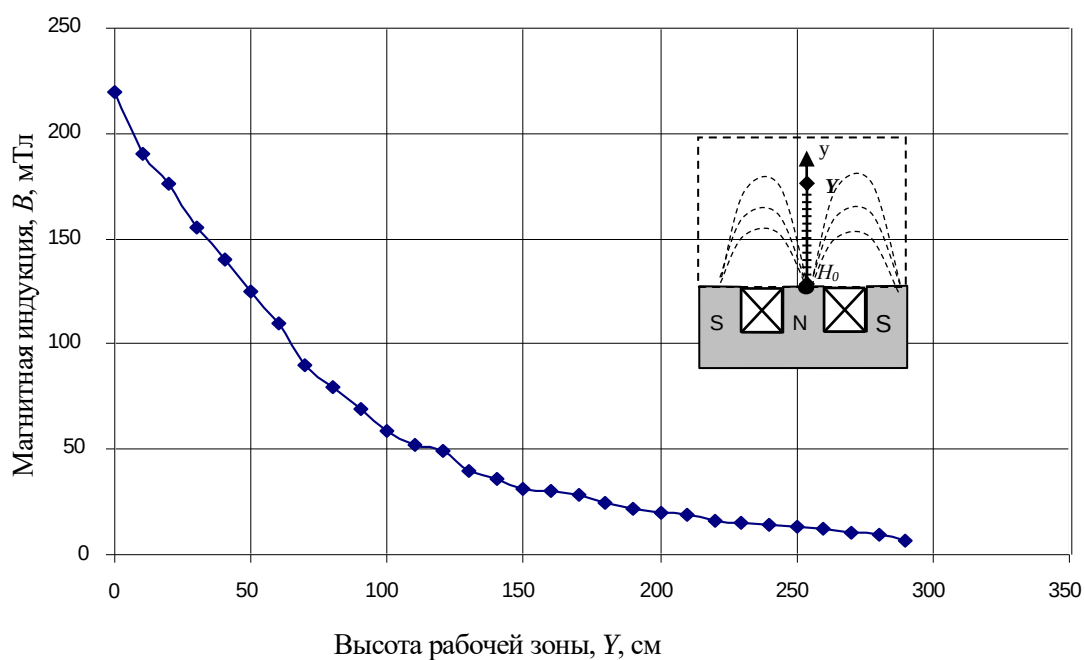


Рис. 4.7. Зависимость изменения магнитной индукции B от высоты Y рабочей зоны.

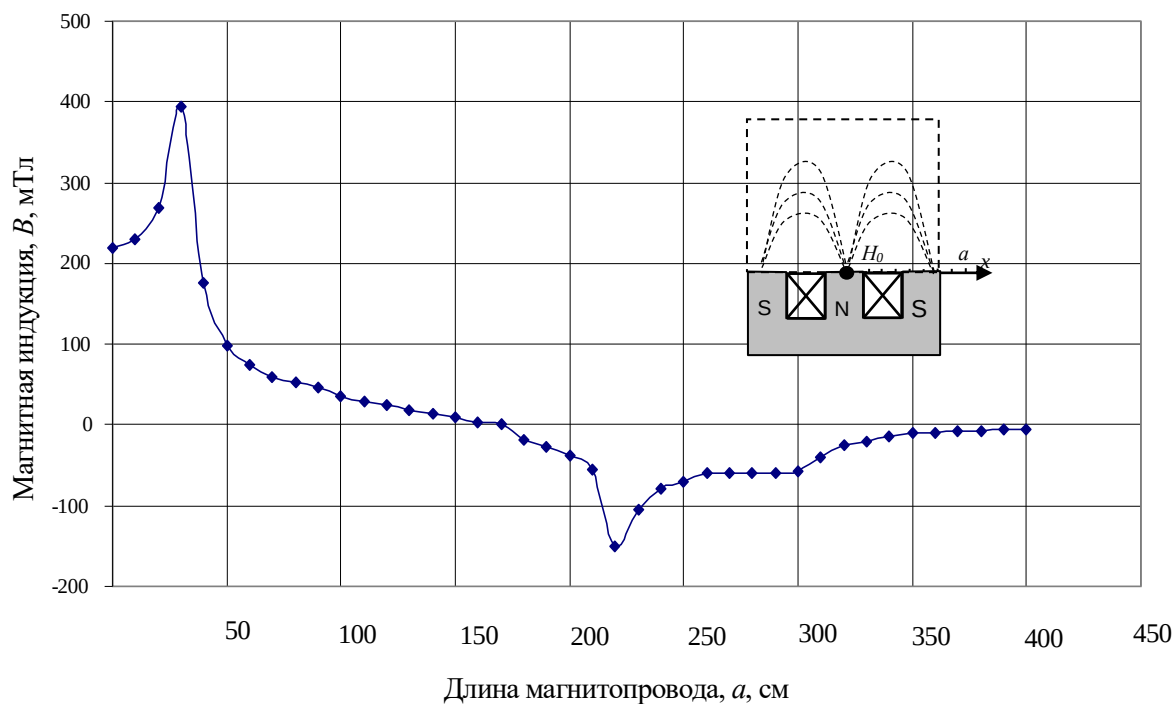


Рис. 4.8. Зависимость изменения магнитной индукции B от от длины a магнитопровода.

Согласно проведенного анализа полученных зависимостей установлено, что значение магнитной индукции B уменьшается по мере удаления от полюса H_0 . При этом на расстоянии 300 мм и больше магнитная индукция почти не действует на частицу, поэтому высота Y отстойника должна быть не более 300 мм.

4. 5. Экспериментальное обоснование коагуляции частиц в области магнитного поля

Известно, что наиболее сложным и малоизученным является процесс коагуляции частиц.

Для изучения влияния на процесс коагуляции частиц различных факторов были проведены следующие экспериментальные исследования.

Для этой цели была разработана установка, схема которой приведена на рис. 4.9. Установка включает в себя регулировочный трансформатор ЛАТР 1; понижающий трансформатор 220/12В 2; вольтметр 3; амперметр 4;

блок выпрямительных диодов 5; электромагнит 6; стеклянная ванна с метками размеров 7.

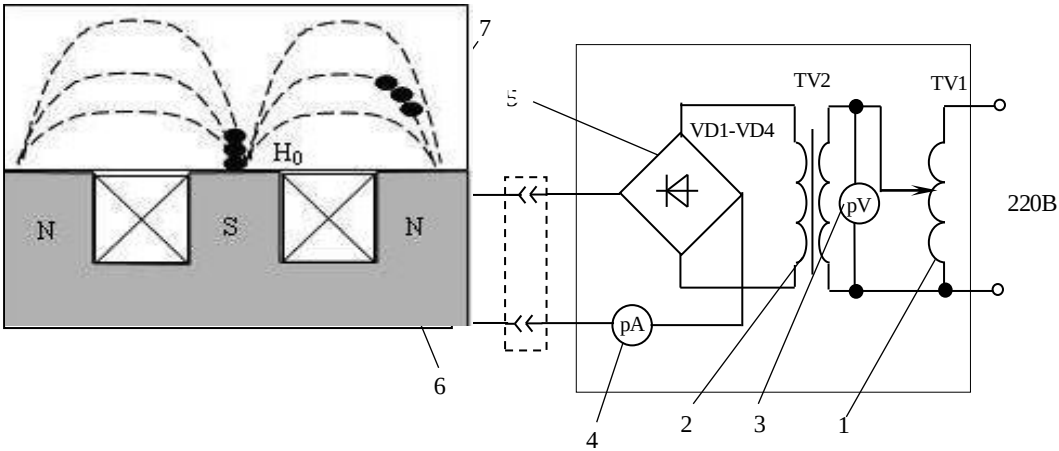


Рис. 4.9. Схема установки, для исследования коагуляции частиц в неоднородном магнитном поле.

Исследования проводились в статическом режиме. Изменение напряженности поля H , а следовательно и $grad H$ регулировалась изменением тока I регулировочным трансформатором 1 в обмотке электромагнита 6. Связь силы тока с напряженностью поля описывается законом полного тока.

Исходные данные для исследования представлены в табл. 4.2. Концентрация частиц выбрана в соответствии с реальной концентрацией механических примесей в СОЖ. Загрязнения СОЖ проводили весовым способом

Таблица 4.2

Исходные данные для проведения экспериментальных исследований по изучению коагуляции частиц в неоднородном магнитном поле

Концентрация магнитных частиц δ_m , г/л	Средний размер частиц, $d_q \cdot 10^{-5}$, м	Напряжение первичной обмотки, U_1 , В	Ток вторичной обмотки, I_2 , А
0,3	2,4 – 3,7	20 - 90	5 - 30
0,4	2,4 – 3,7	20 - 90	5 - 30
0,5	2,4 – 3,7	20 - 90	5 - 30

Полученные результаты исследований представлены зависимостью изменения размера флоккул механических примесей в СОЖ при различных значениях силы тока в обмотке (рис. 4.10).

При этом экспериментально установлено, что расстояние, на котором наблюдается эффект коагуляции между частицами сложная функция, которая зависит от силы тока в обмотке I (напряженности поля H), удаленности их от полюса электромагнита H_0 , а также от размера частиц d_q .

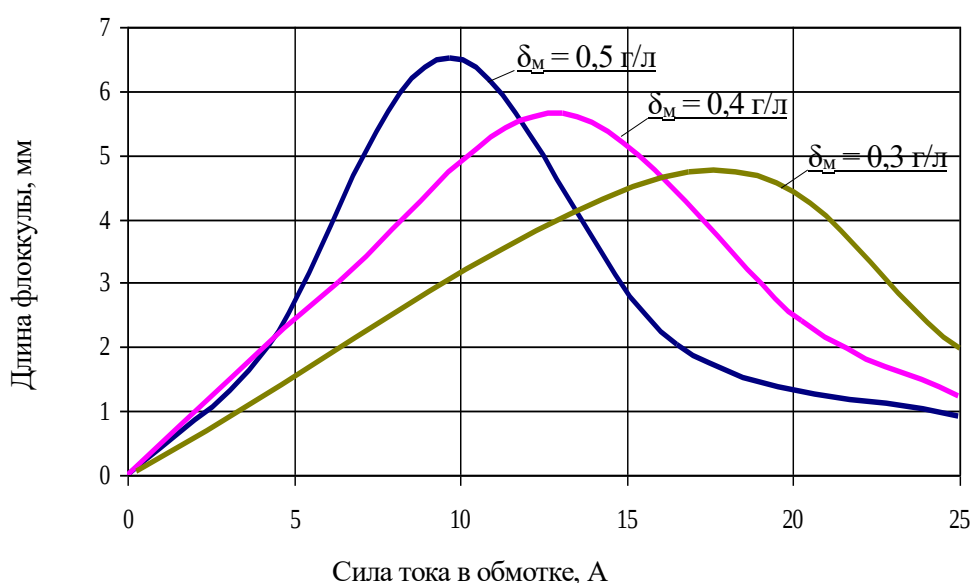


Рис. 4.10. Зависимость изменения размера флоккул механических примесей в СОЖ при различных значениях силы тока в обмотке.

Таким образом, на основании экспериментальных исследований установлено следующее:

- уменьшение тока в обмотке влечет за собой уменьшение длины флоккул;
- магнитная коагуляция имеет место при концентрации частиц в СОЖ более 0,3 г/л, при меньших концентрациях она не наблюдается вследствие значительных расстояний между частицами;
- эффект коагуляции наблюдается во всей области действия магнитного поля, при этом со снижением концентрации уменьшается и длина флоккул.

4.6. Опытнo - промышленные испытания эффективности абразивной обработки восстанавливаемых деталей автомобилей с использованием очистки СОЖ в магнитном отстойнике

Опытнo - промышленные испытания проводились в несколько этапов.

На первом этапе проводились лабораторные испытания магнитного отстойника по полнофакторному эксперименту (ПФЭ), варьируя определенными параметрами с целью выявления показателя чистоты СОЖ при очистке от механических примесей.

На рис. 4.11 приведена схема установки, при помощи которой проводились экспериментальные исследования по выявления эффективности очистки СОЖ от механических примесей в магнитном отстойнике.

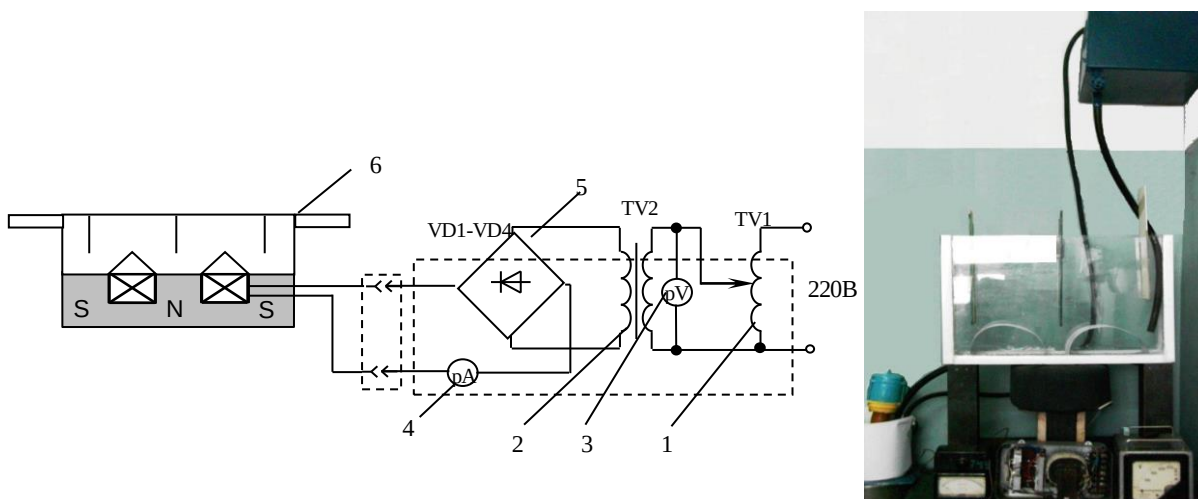


Рис. 4.11. Схема и фотография экспериментальной установки для определения эффективности очистки СОЖ от механических примесей в магнитном отстойнике.

Установка включает в себя регулировочный трансформатор ЛАТР 1; понижающий трансформатор 220/12В 2; вольтметр 3; амперметр 4; блок выпрямительных диодов 5; магнитный отстойник 6.

Испытания проводились по общепринятой методике при следующих изменяемых параметрах: сила тока в обмотке электромагнита $I = 5; 10; 15; 20; 25; 30$ А. В качестве СОЖ использовали 3 % - ную эмульсию Укринол-1

с концентрациями механических примесей: $\delta_{ex} = 0,25; 0,7; 1,0$ г/л. Для значений входной концентрации δ_{ex} взяты средние гранулометрические характеристики примесей в СОЖ при шлифовании восстановленных коленчатых валов двигателей ЗИЛ. Скорость горизонтального движения СОЖ v_n в начале отстойника принимали 9-12 мм/с. Предельное значение показателя чистоты δ_{bix} СОЖ в процессе эксплуатации принимаем равным $\delta_{bix} = 0,1$ г/л.

На первом этапе исследования проводились при количестве витков в обмотке электромагнита равным 2800. При этом СОЖ с концентрацией механических примесей δ_{ex} равным 1,0 г/л подавали в отстойник. Кроме того в обмотке электромагнита изменяли величину силы тока I . При этом, после каждого изменения силы тока брали пробы очищенной СОЖ и определяли массовую концентрацию механических примесей согласно методики [172].

По результатам эксперимента была получена зависимость, связывающая значение показателя чистоты СОЖ δ_{bi} с технологическими и конструктивными параметрами магнитного отстойника $\delta_{bi} = f(I, \delta_{ex})$ (рис. 4.12).

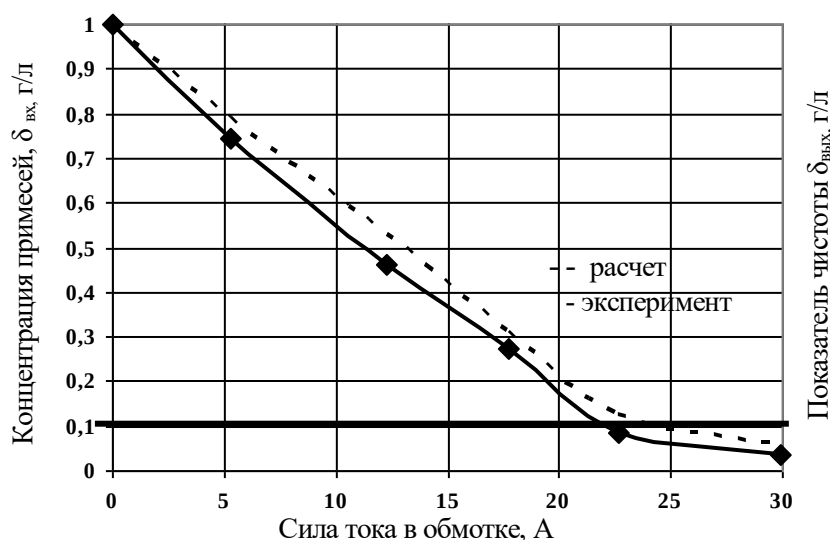


Рис. 4.12. Зависимость показателя чистоты СОЖ от изменения тока в обмотке при $\delta_{ex} = 1$ г/л.

Методика выше приведенного эксперимента реализовывалась для последующих заданных концентраций: $\delta_{\text{вх}} = 0,7 \text{ г/л}$ и $\delta_{\text{вх}} = 0,25 \text{ г/л}$. Результаты экспериментов представлены на рис. 4.13, 4.14.

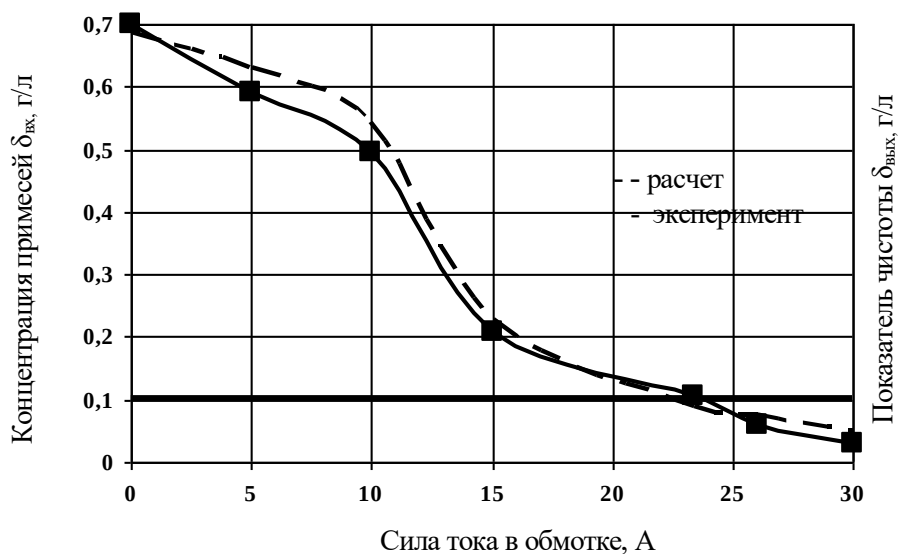


Рис. 4.13. Зависимость показателя чистоты СОЖ от изменения тока в обмотке при $\delta_{\text{вх}} = 0,7 \text{ г/л}$).

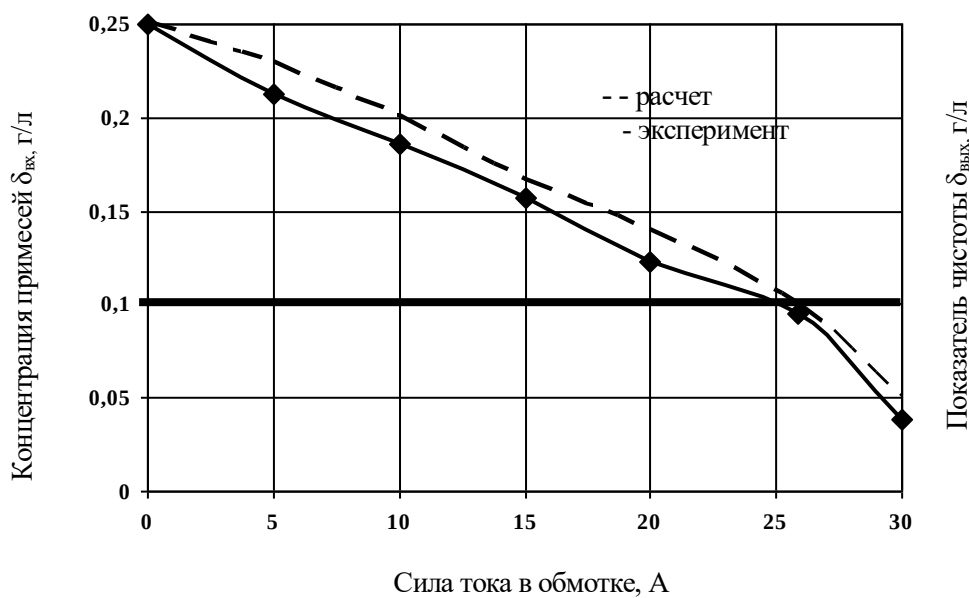


Рис. 4.14. Зависимость показателя чистоты СОЖ от изменения тока в обмотке при $\delta_{\text{вх}} = 0,25 \text{ г/л}$.

Определенный практический интерес представляет эффективность очистки СОЖ от напряженности магнитного поля в отстойнике. Данная зависимость ($\Xi = f(H)$) представлена на рис. 4.15.

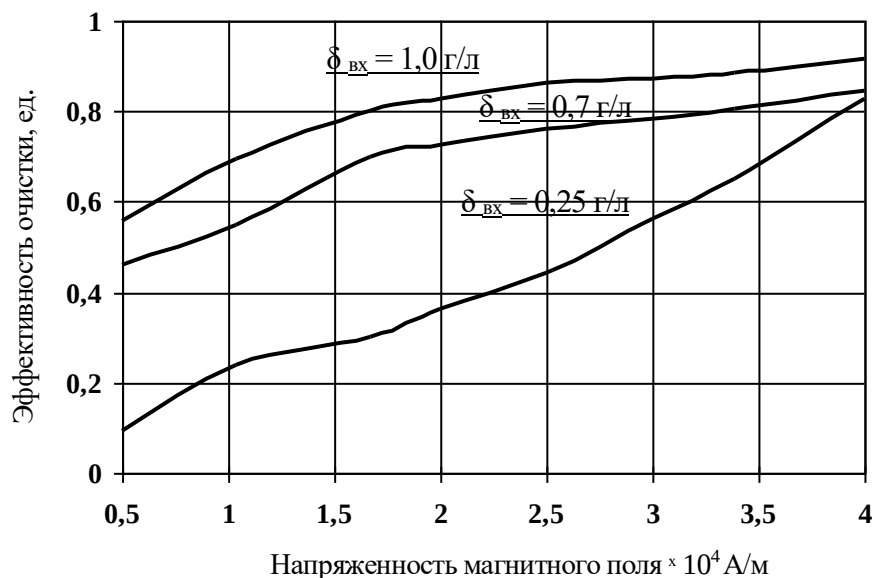


Рис. 4.15. Зависимость эффективности очистки СОЖ от напряженности магнитного поля в отстойнике.

Погрешности приведенных экспериментальных и расчетных зависимостей не превышали 10 %.

На втором этапе исследований проводились опытно - промышленные испытания эффективности абразивной обработки восстанавливаемых деталей автомобилей с использованием очистки СОЖ в магнитном отстойнике.

Причиной опытно-промышленных испытаний являлась необходимость повышения производительности механической обработки: а) за счет увеличения периода стойкости шлифовального круга и соответствующего уменьшения числа его правок; б) путем интенсификации режимов шлифования (сокращением машинного времени); в) сокращения расхода шлифовальных кругов и алмазных правящих инструментов. При этом во всех случаях обязательным условием является обеспечение требуемого качества шлифованных деталей по ГОСТ 2789-73.

Условия абразивной обработки восстанавливаемых деталей требуют применения не только разных марок шлифовальных материалов, но и определенных размеров (зернистостей) основной фракции зерен (шлифзерно – 160...2000 мкм; шлифпорошки – 40...125 мкм), а также разнообразие видов СОЖ, используемых при обработке деталей.

В связи с этим исследования проводились на круглошлифовальном станке модели 3А151, электрокорундовыми кругами зернистостью 40-100 мкм и твердостью СТ1 и размером 1(ПП) 900×50×305, согласно требованиям ГОСТ 2424-83, обрабатывались образцы наплавленных шеек коленчатых валов автомобиля ЗИЛ из стали 45 ГОСТ 1050-88 твердостью 50-60 HRC. СОЖ (2 % - ная эмульсия Укринол-1- смесь минерального масла, эмульгаторов и ингибиторов коррозии) подавали свободно падающей струей (поливом) расход которой составлял 10-12 л/мин. Правку круга проводили алмазом в оправе (тип 037-3908, 1037-0,04-64). Величина припусков на механическую обработку и рекомендуемые режимы шлифования определялись расчетно-аналитическим методом [24]. Измерения параметров шероховатости обработанных поверхностей производилось с помощью профилографа - профилометра модели 201 и визуального анализа профиля на приборе МИС11. Наличие прижога на шлифованной поверхности и оценка состояния поверхности круга производилась визуально с помощью микроскопа МИМ-6, оснащенного цифровой камерой.

В начале экспериментальных исследований производили предварительное (черновое) ($t_p = 0,03\text{мм}$) шлифование образцов после наплавки, обеспечивая величину шероховатости поверхности $R_a = 1,6\text{ мкм}$. Далее производили окончательное (чистовое) шлифование ($t_p = 0,005\text{мм}$). Требуемый параметр шероховатости поверхности детали составлял $R_a = 0,32\text{ мкм}$.

При длительном шлифовании и снятии больших неравномерных припусков повышается концентрация механических примесей в СОЖ $\delta_{\text{вх}}$, тем самым ухудшается параметр шероховатости. Кроме того периодичность очистки шлифовального круга увеличивается, а это связано с повышением

степени засаливания режущего инструмента. При этом параметр шероховатости обработанных поверхностей будет зависеть от уровня очистки СОЖ в магнитном отстойнике.

Профилограммы шлифованных поверхностей исследованных образцов при различных показателях очистки СОЖ в магнитном отстойнике представлены на рис. 4.16 – 4.19.

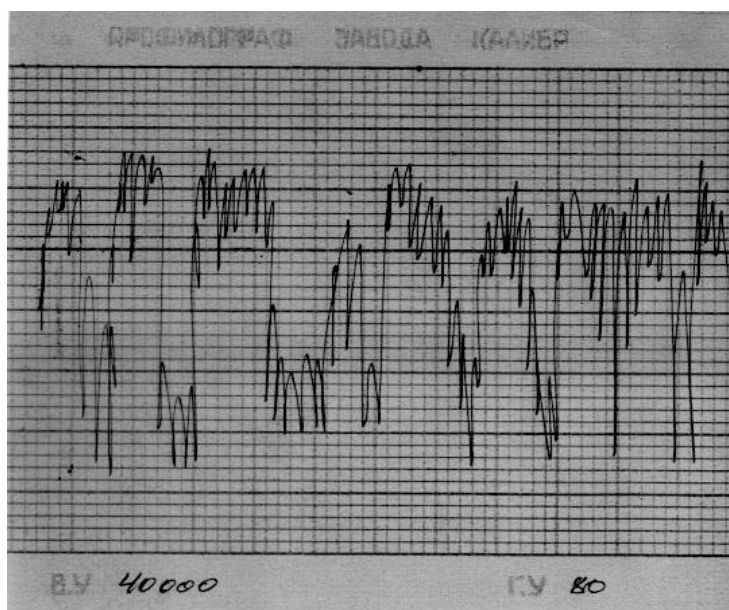


Рис. 4.16. Профилограмма шлифованной поверхности образца ($\delta_{вх} = 1,0$ г\л; $R_a = 0,6 - 0,8$ мкм).

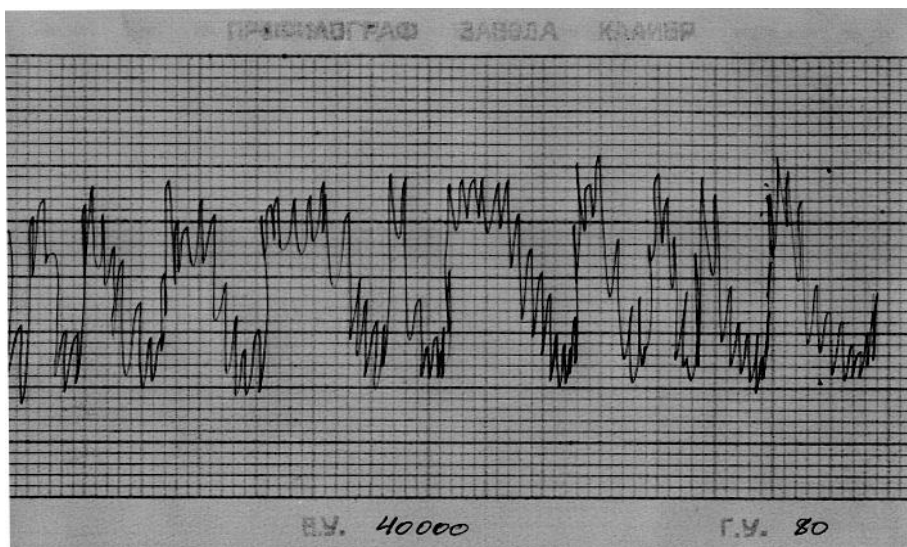


Рис. 4.17. Профилограмма шлифованной поверхности образца ($\delta_{вх} = 0,4$ г\л; $R_a = 0,4 - 0,55$ мкм).

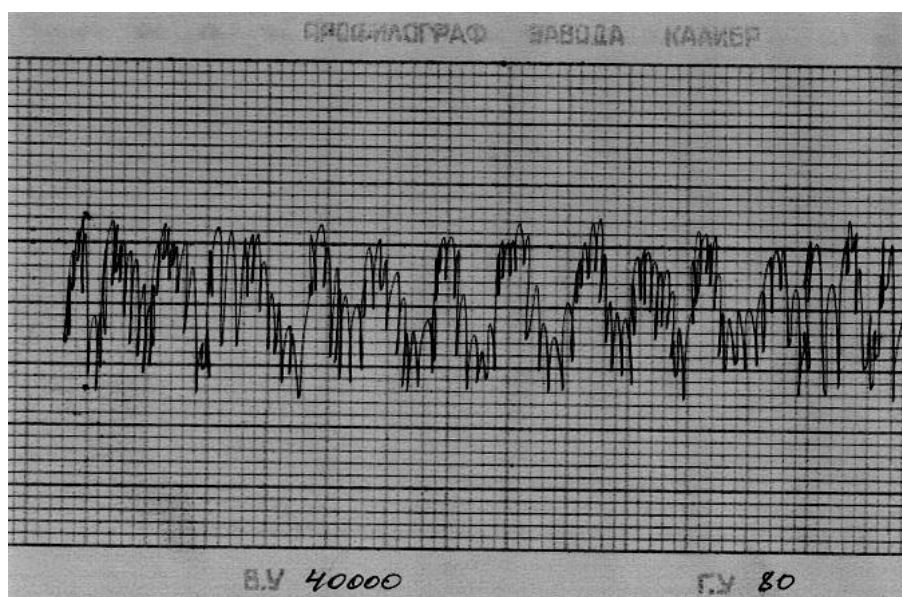


Рис. 4.18. Профилограмма шлифованной поверхности образца ($\delta_{\text{вх}} = 0,1 \text{ г\%}$; $R_a = 0,25 - 0,35 \text{ мкм}$).

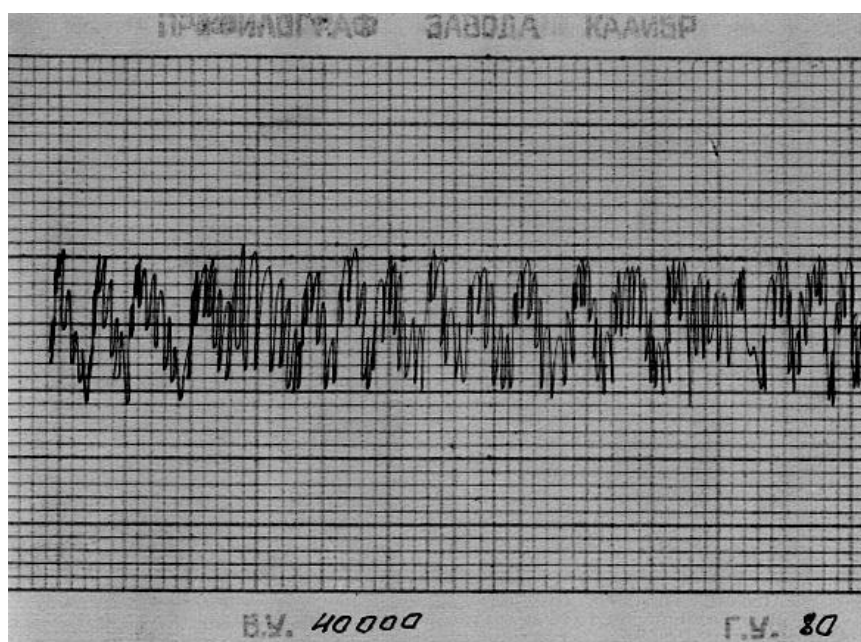


Рис. 4.19. Профилограмма шлифованной поверхности образца ($\delta_{\text{вх}} = 0,01 \text{ г\%}$; $R_a = 0,2 - 0,3 \text{ мкм}$).

Анализ полученных профилограмм позволяет установить, что с уменьшением концентрации механических примесей после очистки в магни-

тном отстойнике (с 1,0 г/л до 0,01 г/л) уменьшается параметр шероховатости поверхности образцов с $R_a = 0,8$ мкм до $R_a = 0,2$ мкм.

Влияние показателя чистоты СОЖ в магнитном отстойнике на шероховатость шлифованной поверхности образцов представлено на рис. 4.20.

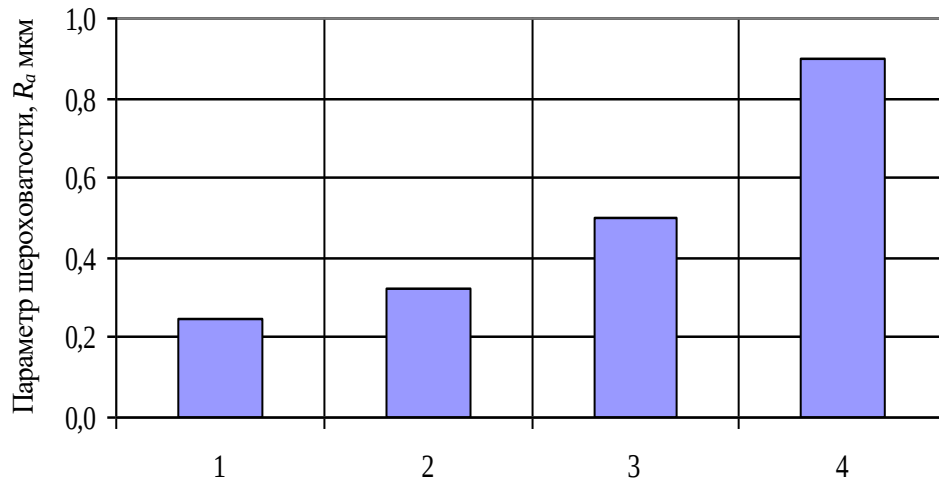


Рис. 4.20. Зависимость параметра шероховатости образцов от показателя чистоты СОЖ в магнитном отстойнике: 1 - $\delta_{\text{ВЫХ}} = 0,01 \text{ г/л}$; 2 - $\delta_{\text{ВЫХ}} = 0,1 \text{ г/л}$; 3 - $\delta_{\text{ВЫХ}} = 0,4 \text{ г/л}$; 4 - $\delta_{\text{ВЫХ}} = 1,0 \text{ г/л}$.

Влияние уровня очистки СОЖ в магнитном отстойнике на количество шлифованных шеек коленчатого вала до правки круга представлено на рис. 4.21.

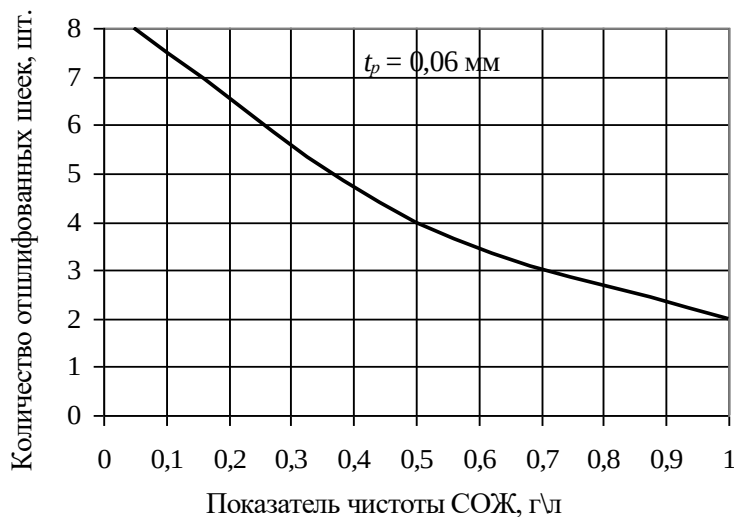


Рис. 4.21. Влияние показателя чистоты СОЖ в магнитном отстойнике на количество шлифованных шеек коленчатого вала (до правки круга).

Влияние уровня очистки СОЖ в магнитном отстойнике на производительность процесса шлифования коленчатого вала представлена на рис. 4.22.

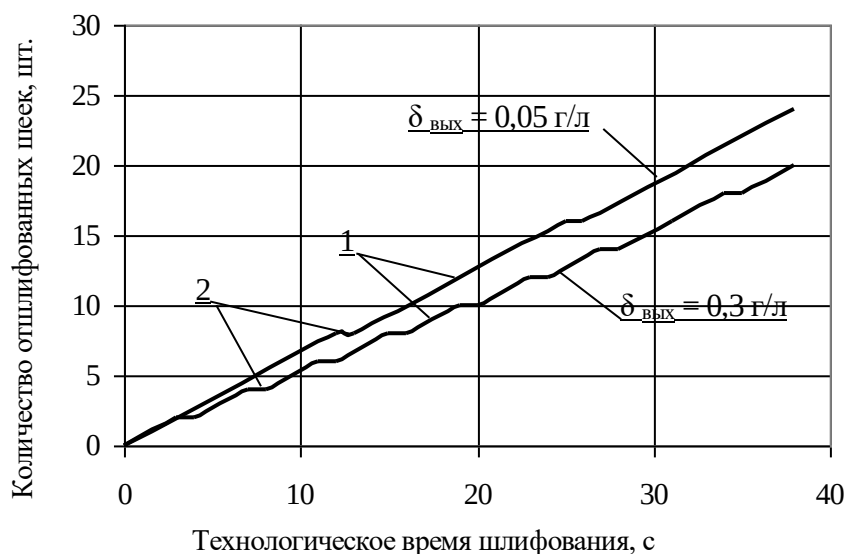


Рис. 4.22. Влияние показателя чистоты СОЖ в магнитном отстойнике на производительность процесса шлифования шеек коленчатых валов: 1 - машинное время; 2 - правка круга.

Анализ полученных зависимостей позволяет сделать выводы, что очистка СОЖ в магнитном отстойнике до предельных значений согласно ГОСТ Р 50558-93, обеспечивает увеличение интервала машинного времени между очистками круга до 70 %. При этом непосредственно после очистки СОЖ шероховатость поверхности детали уменьшается от 30 % до 50 %, что объясняется уменьшением степени засаливания шлифовального круга. Наиболее рациональная шероховатость поверхности ($R_a = 0,32$ мкм) при обработке коленчатого вала двигателя ЗИЛ с применением СОЖ очищенной в магнитном отстойнике, достигается при следующих параметрах магнитного отстойника : длина отстойника, $L = 0,65$ м; ширина отстойника, $A = 0,12$ м, высота отстойника $h = 0,45$ м, число витков $W = 2800$; ток в обмотке $I = 23-25$ А, мощность $P = 453$ Вт.

4.7. Статистическая обработка экспериментальных данных

Основные результаты экспериментальных исследований были статистически обработаны по методике корреляционно – регрессионного анализа [173,174] с использованием ПЭВМ в Microsoft Office Excel.

При исследовании извлечения механических примесей в магнитном отстойнике изучалось влияние следующих факторов:

Z_1 - сила тока в обмотке электромагнита, I А;

Z_2 - концентрация механических примесей в СОЖ, δ_{ex} г/л;

Z_3 - количество витков в обмотке, W.

Выходной параметр:

δ_{bl} - показатель чистоты СОЖ, г/л.

Область варьирования факторов:

$$0 \leq Z_1 \leq 22,5; 0,25 \leq Z_2 \leq 1,0; 1200 \leq Z_3 \leq 2792. \quad (4.2)$$

Определялся интервал варьирования:

$$\Delta_{z_1} = 11,25; \Delta_{z_2} = 0,375; \Delta_{z_3} = 796 \quad (4.3)$$

Уровни вариации параметров представлены в табл. 4.3.

Таблица 4.3

Уровни вариации параметров

Уровень фактора интервал варьирования	Условные обозначения уровней	Сила тока в обмотке электромагнита, А Z_1 ,	Входная концентрация примесей, г/л Z_2 ,	Количество витков в обмотке Z_3
Верхний предел	1	22,5	1,0	2792
Нижний предел	-1	0,1	0,25	1200
Средний предел	0	11,25	0,625	1996
Уровень варьирования	-	11,25	0,375	796

Согласно установленным параметрам строим матрицу планирования эксперимента (табл. 4.4).

Таблица 4.4

Матрица планирования эксперимента

№	Факторы			Факторы взаимодействия				Отклики			Y_i	S^2_i
	z_1	z_2	z_3			z_2z_3	$z_1z_2z_3$	Y_{i1}	Y_{i2}	Y_{icp}		
1	+1	+1	+1	+1	+1	+1	+1	0,05	0,15	0,10	0,04	0,00
2	-1	+1	+1	-1	-1	+1	-1	1,05	0,90	0,98	-0,09	0,01
3	+1	-1	+1	-1	+1	-1	-1	0,05	0,14	0,10	-0,04	0,00
4	-1	-1	+1	+1	-1	-1	+1	0,25	0,20	0,23	0,09	0,01
5	+1	+1	-1	+1	-1	-1	-1	0,65	0,70	0,70	-0,04	0,00
6	-1	+1	-1	-1	+1	-1	+1	1,00	0,95	0,98	0,09	0,01
7	+1	-1	-1	-1	-1	+1	+1	0,10	0,30	0,20	0,04	0,00
8	-1	-1	-1	+1	+1	+1	-1	0,30	0,20	0,25	-0,09	0,01

Одной из основных предпосылок регрессионного анализа при ПФЭ является гипотеза об однородности выборочных дисперсий. Для проверки этой гипотезы был вычислен критерий Кохрена, G_p .

$$G_p = \frac{S_{\max}^2}{\sum_{i=1}^N S_i^2}, \quad (4.4)$$

где $N=2^n$ – количество экспериментов;

n – количество факторов;

S_i^2 - построчная дисперсия.

Построчная дисперсия определяется:

$$S_i^2 = \frac{\sum_{j=1}^m (y_{ij} - \bar{y}_i)^2}{m-1}, \quad (4.5)$$

где m - количество откликов;

y_i - среднее количество откликов.

Среднее количество откликов определяется:

$$y_i = \frac{\sum_{j=1}^m y_{ij}}{m}. \quad (4.6)$$

По таблице критических точек распределения Кохрена [175] при заданном уровне значимости и числах степеней свободы находим критическое значение критерия Кохрена $G_{кр}(0,05; k_1 = 2-1 = 1; k_2 = 8)$ равное 0,68. Расчетное значение $G_p(0,05; k_1 = m - 1 = 1; k_2 = N)$ равное 0,38. Так как расчетное $G_p = 0,38 < G_{кр} = 0,68$, то дисперсии однородны и воспроизводимость опытов хорошая.

Коэффициенты в уравнении модели определяем по выражению:

$$B_i = \frac{1}{N} \sum_{j=1}^N z_{ij} \cdot y_j. \quad (4.7)$$

Оценка значимости коэффициентов регрессии проводилась с помощью критерия Стьюдента T_{pB_i} , который определяем по выражению:

$$T_{pB_i} = \frac{|B_i|}{S_{B_i}}, \quad (4.8)$$

где S_{B_i} - дисперсия коэффициентов модели.

Дисперсия коэффициентов модели определяется:

$$S_{B_i} = \sqrt{\frac{S_{ном}^2}{N}}. \quad (4.9)$$

Дисперсию повторяемости определяем по выражению:

$$S_{повт}^2 = \frac{\sum_{i=1}^N S_i^2}{N}. \quad (4.10)$$

Значимость коэффициентов B_i проверялись по критерию Стьюдента.

Для каждого коэффициента B_i определяем расчетное значение T_{pB} .

По таблице критических точек распределения Стьюдента [175] при заданном уровне значимости $\alpha=0,05$ и числе степеней свободы $k=N(m-1)$, находим $T_{\alpha}(0,058)=231$.

Значения коэффициентов регрессии и их значимость представлены в табл. 4.5.

Уравнение модели строим с учетом только значимых коэффициентов:

$$y = 0,44 - 0,166 \cdot Z_1 + 0,2475 \cdot Z_2 - 0,091 \cdot Z_3 - 0,121 \cdot (Z_1 \cdot Z_3) - 0,085 \cdot (Z_1 \cdot Z_3). \quad (4.11)$$

Таблица 4.5

Значение коэффициентов регрессии по критерию Стьюдента

Коэффициенты регрессии, B_i	Критерий Стьюдента, T_{pB}	Значимость коэффициентов
$B_0 = 0,44$	$T_0 = -233,969$	Значим
$B_1 = -0,166$	$T_1 = -158,596$	Значим
$B_2 = 0,2475$	$T_2 = -80,083$	Значим
$B_3 = -0,091$	$T_3 = -1,756$	Значим
$B_{12} = -0,121$	$T_{12} = -1,756$	Значим
$B_{13} = -0,085$	$T_{13} = 1,756$	Значим
$B_{23} = -0,059$	$T_{23} = 95,995$	Не значим
$B_{123} = -0,065$	$T_{123} = 135,808$	Не значим

Адекватность моделей определялась по дисперсии неадекватности и критерию Фишера [175]:

$$F_p = \frac{S_{ad}^2}{S_{vidm}^2}. \quad (4.12)$$

Дисперсия адекватности определяется по выражению:

$$S_{ad}^2 = \frac{m}{N-l} \sum_{i=1}^N (\hat{y}_i - y_i)^2. \quad (4.13)$$

По таблице критических точек распределения Фишера [175] при заданном уровне значимости и числах степеней свободы находим критическое значение распределения Фишера F_p при заданном уровне значимости $\alpha=0,05$ и числе степеней свободы $k_1=N-l, k_2=N(m-1)$ находим $F_{0,05;8}=4,46$.

Расчетное значение $F_p(0,05; k_1 = m - 1 = 1; k_2 = N)$ равно 1,985. Так как расчетное $F_p = 1,985 < F_{кр} = 4,46$, следовательно, полученная модель адекватна экспериментальным данным.

Рассчитав модель по уровням варьирования входных параметров, получаем значимые уравнения в точках матрицы, которые представлены в табл. 4.6.

Таблица 4.6

Значения уравнения модели в точках матрицы

Ток, I	Концентрация примесей, δ_{ex}	Витки, W	Показатель чистоты, $\delta_{вых}$
1	2	3	4
Z_1	Z_2	Z_3	y
1	2	3	4
1	1	-1	0,5765
1	1	0	0,4005
1	1	1	0,2245
1	0	-1	0,45
1	0	0	0,274
1	0	1	0,098
1	-1	-1	0,3235
1	-1	0	0,1475
1	-1	1	-0,0285

Продолж. табл. 4.6

1	2	3	4
0	1	-1	0,7785
0	1	0	0,6875
0	1	1	0,5965
0	0	-1	0,531
0	0	0	0,44
0	0	1	0,349
0	-1	-1	0,2835
0	-1	0	0,1925
0	-1	1	0,1015
-1	1	-1	0,9805
-1	1	0	0,9745
-1	1	1	0,9685
-1	0	-1	0,612
-1	0	0	0,606
-1	0	1	0,6
-1	-1	-1	0,2435
-1	-1	0	0,2375
-1	-1	1	0,2315

По результатам расчетов методом детерминирования концентрации примесей в СОЖ δ_{ex} [175], получены графические зависимости $\delta_{\hat{a}\hat{u}\hat{o}} = f(I)$, рис. 4.23; $\delta_{\hat{a}\hat{u}\hat{o}} = f(W)$, рис. 4.24; $\delta_{\hat{a}\hat{u}\hat{o}} = f(\delta_{\hat{a}\hat{o}})$, рис. 4.25, которые имеют линейный характер и описываются уравнением:

$$y = a + bx. \quad (4.14)$$

Коэффициенты a и b подчиняются линейному закону при x (W , I , δ_{ex}) – $const$, позволяют получить общее эмпирическое уравнение влияния величины тока I , входной концентрации δ_{ex} и изменения количества витков в обмотке W :

$$\delta_{ex} = \frac{\delta_{ex}(1176 - 216 \cdot I)}{W}. \quad (4.15)$$

Согласно полученным данным (рис. 4.23- 4.25) устанавливаем, что основными характеристиками, влияющими на значение показателя чистоты

$\delta_{\text{блх}}$, являются величина тока I и число витков в обмотке W . Эти характеристики взаимосвязаны. Так как число витков W является конструктивным параметром, поэтому основным изменяемым параметром, влияющим на показатель чистоты СОЖ является величина тока в обмотке.

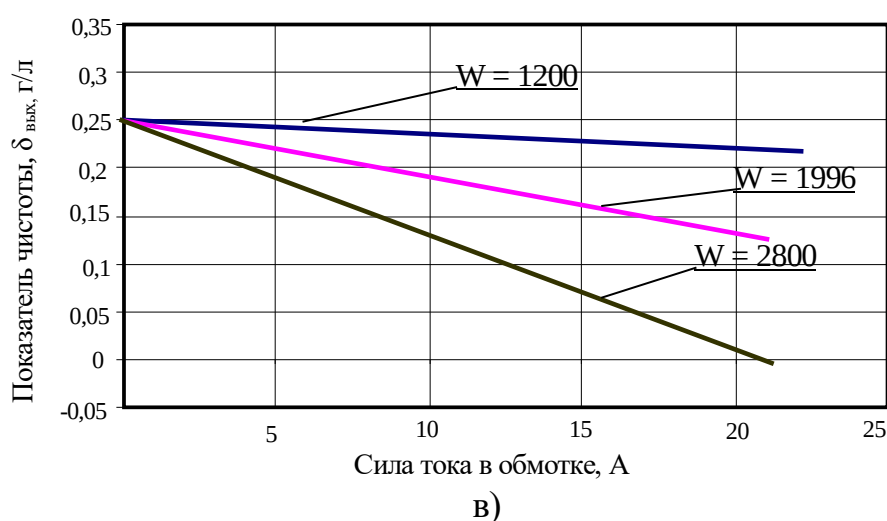
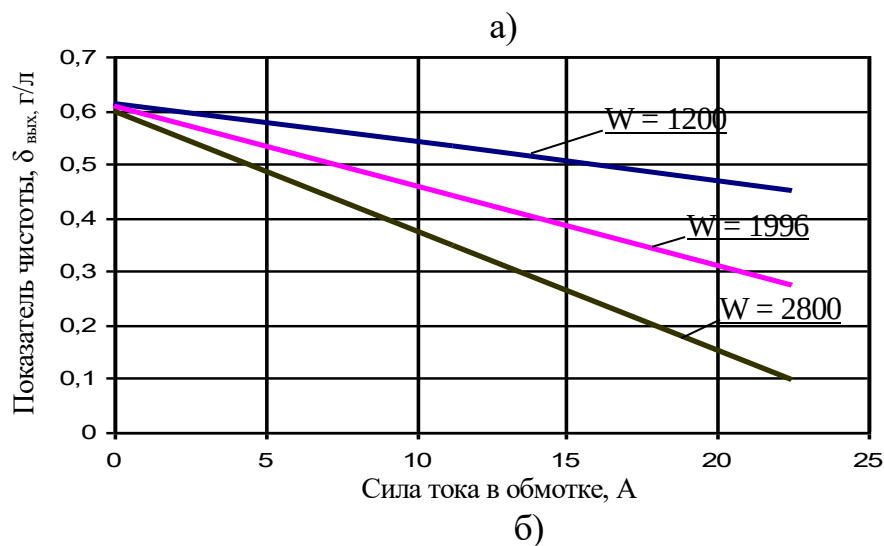
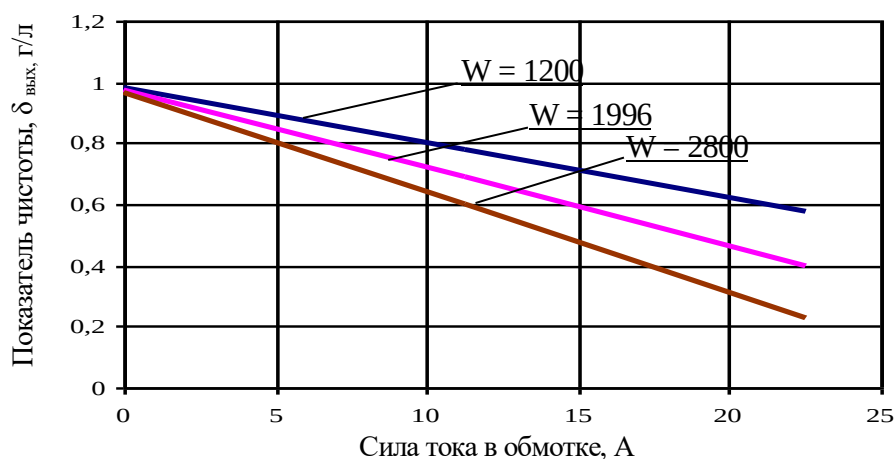
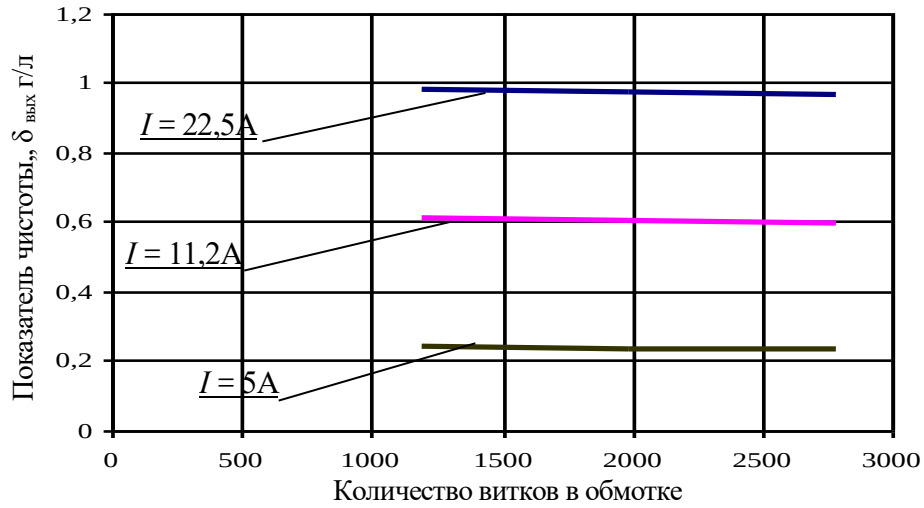
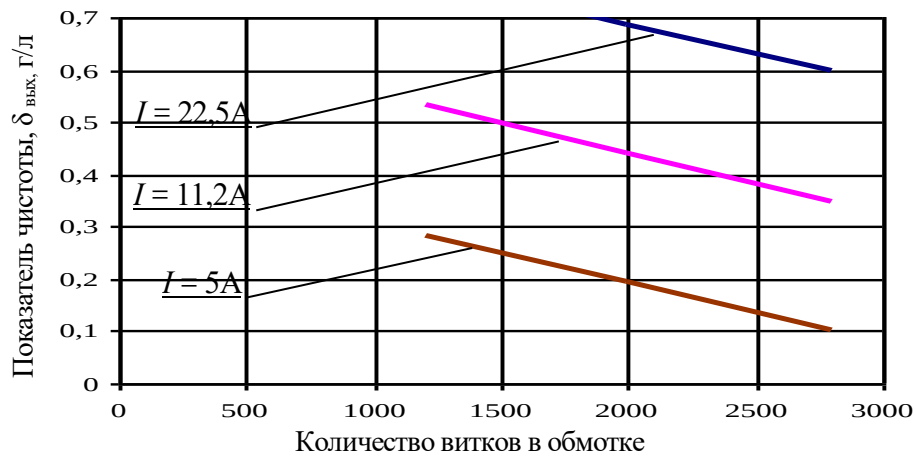


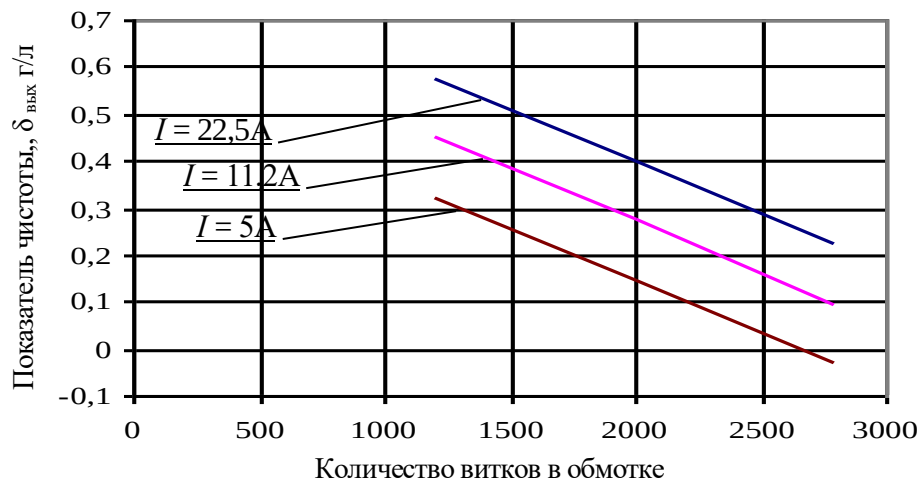
Рис. 4.23. Значение показателя чистоты СОЖ при изменении тока в обмотке: а) концентрация примесей - 1 г/л; б) концентрация примесей - 0,62 г/л; в) концентрация примесей - 0,25 г/л.



а)

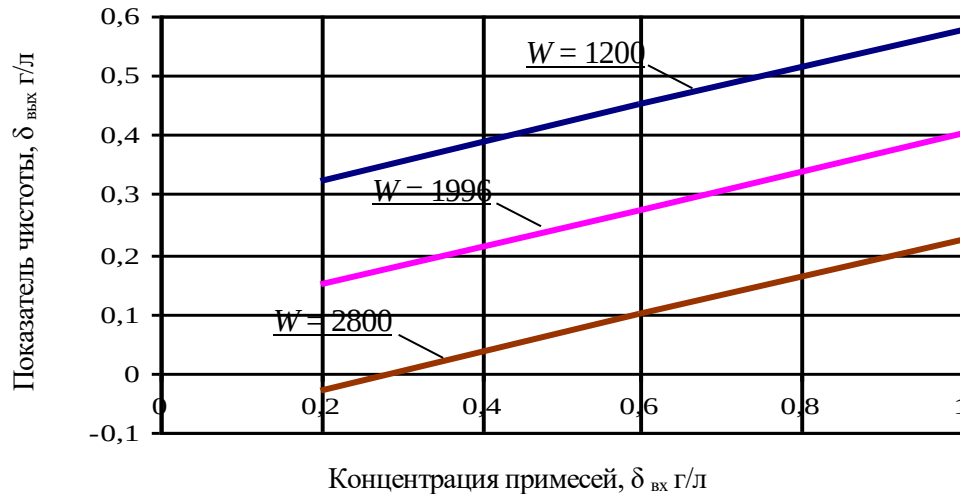


б)

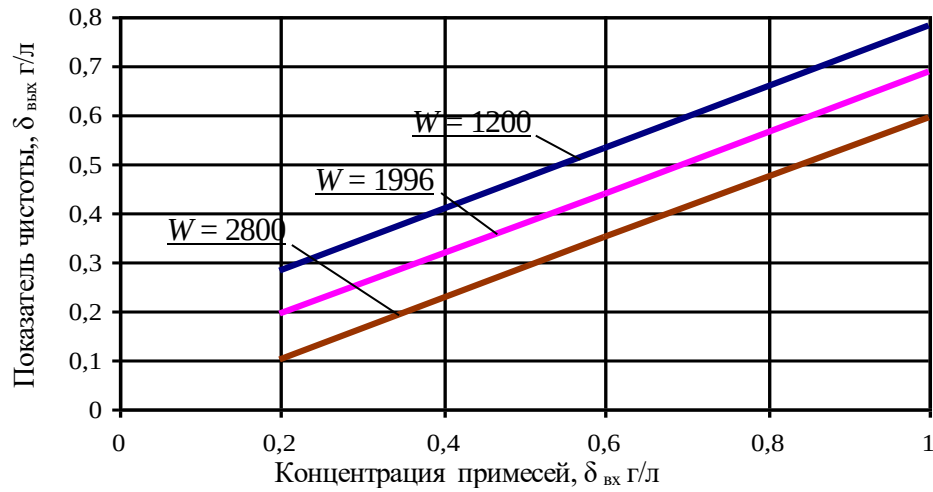


в)

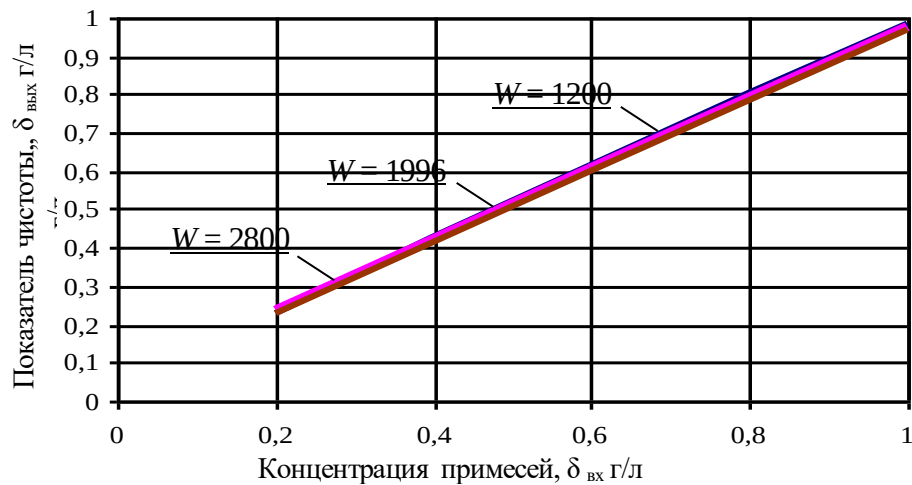
Рис. 4.24. Значение показателя чистоты при изменении количества витков в обмотке: а) концентрация примесей - 1г/л; б) концентрация примесей - 0,62 г/л; в) концентрация примесей - 0,25г/л.



а)



б)



в)

Рис. 4.25. Значение показателя чистоты при изменении концентрации механических примесей: а) величина тока - 22,5А; б) величина тока - 11,2А; в) величина тока - 0,1А.

Подставляя численные значения в полученное эмпирическое уравнение (4.15), строим номограмму (рис.4.26) для определения показателя чистоты $\delta_{\text{блх}}$ СОЖ, при определенном количестве витков в обмотке W , входной концентрации механических примесей $\delta_{\text{вх}}$ и изменении силы тока I .

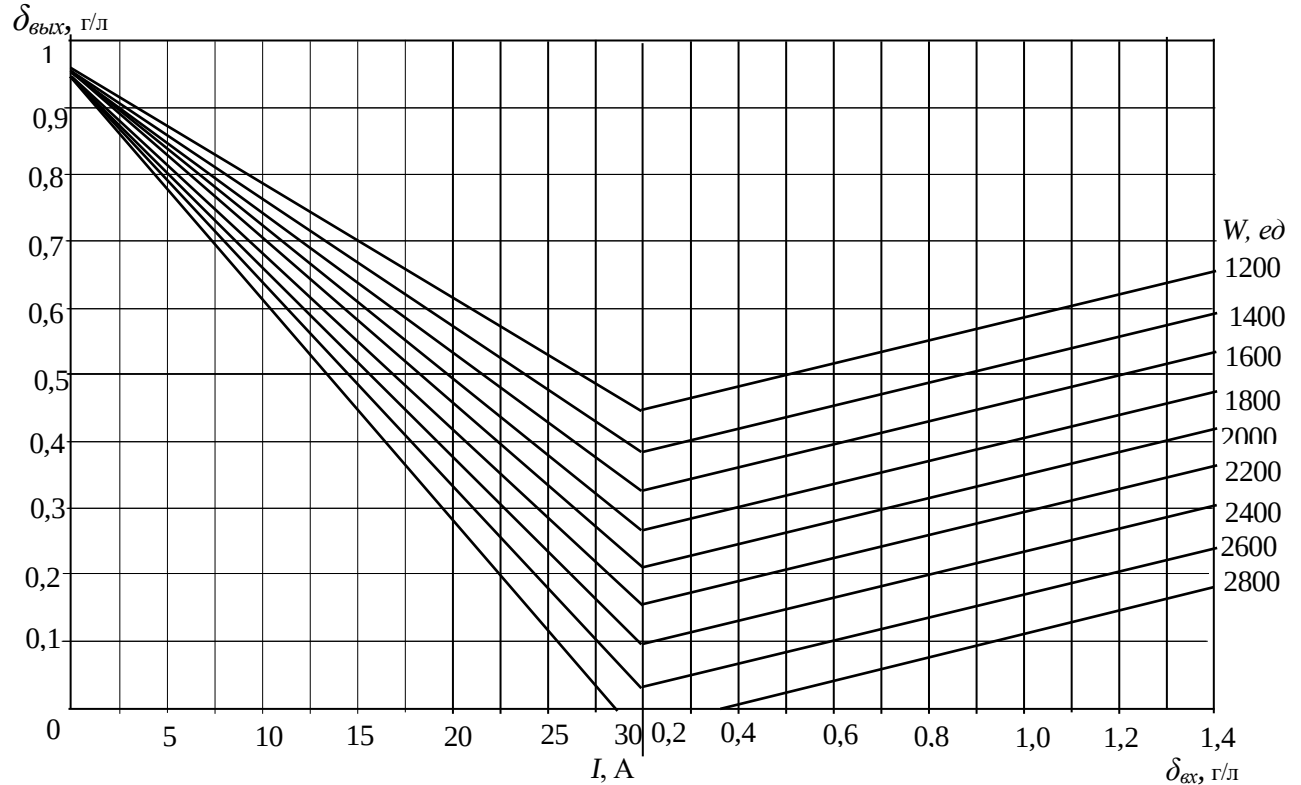


Рис. 4.26. Номограмма для определения показателя чистоты $\delta_{\text{блх}}$ СОЖ, $\delta_{\text{блх}} = f(W, I, \delta_{\text{вх}})$.

Согласно данным построенной номограммы, изменяя число витков W в обмотке и величину тока I , можно установить максимальное значение чистоты $\delta_{\text{блх}}$ СОЖ, не зависимо от концентрации входящей характеристики $\delta_{\text{вх}}$.

$$\delta_{\text{вх}} \rightarrow W \rightarrow I \rightarrow \delta_{\text{блх}}. \quad (4.16)$$

Проведенные исследования влияния различных параметров на качество очистки СОЖ позволили получить алгоритм инженерного расчета параметров для определения чистоты СОЖ (рис. 4.27).

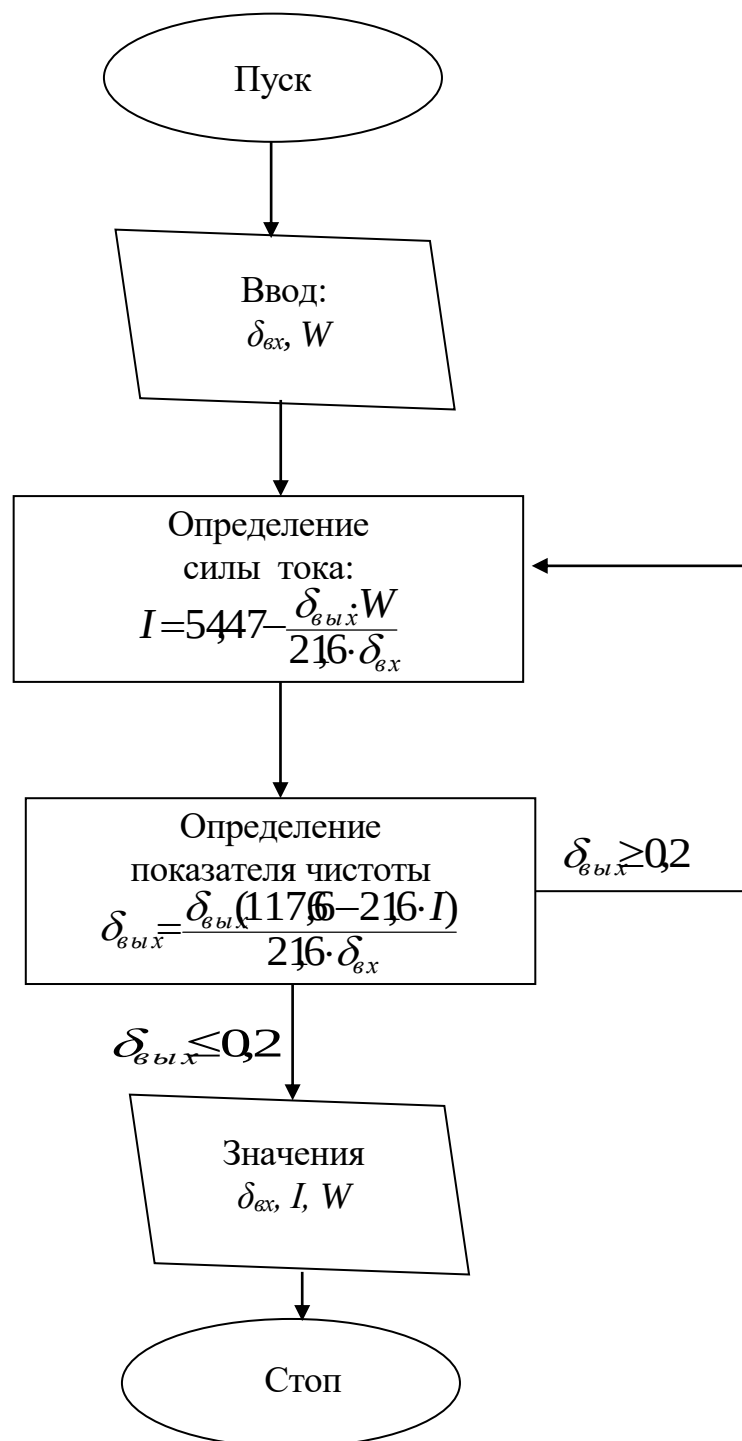


Рис. 4.27. Алгоритм расчета параметров магнитной очистки СОЖ.

Выводы по разделу

На основе выполненных исследований сделаны следующие выводы:

- для эффективного изменения механических примесей из СОЖ разработана новая конструкция магнитного отстойника, которая позволяет экономить электротехнические материалы (уменьшение металлозатрат магнитопровода до 40 %) и электрическую энергию (уменьшение установленной мощности не менее чем на 0,5 кВт) (Пат. 11072 Украина, МПК⁷ B03C 1/08); (Пат. 22891 Украина, МПК⁷ B03C 1/02);

- установлено, что эффективная очистка СОЖ до предельных значений согласно требований ГОСТ Р 50558-93, обеспечит увеличение интервала машинного времени между очистками круга до 70 %, существенно повысит производительность процесса шлифования восстанавливаемых деталей;

- для разработанной конструкции отстойника получены эмпирические зависимости, связывающие электротехнические параметры (число витков источника поля W , тока в обмотке I , длины обмотки $l_{обм}$) с учетом параметров извлекаемых частиц (размер $d_{ч}$, магнитная восприимчивость χ) и технологические параметры (динамическая вязкость η_c , скорость потока v_n и т.д.). При этом установлено, что повышение качества очистки СОЖ возможно с увеличением числа обмоток или с увеличением тока в обмотке;

- предложенная номограмма для определения показателя чистоты $\delta_{вых}$ СОЖ, при изменении количества витков в обмотке W , входной концентрации механических примесей $\delta_{вх}$, величины силы тока I , что позволяет оптимизировать параметры магнитного отстойника для получения эффективной очистки СОЖ;

- экспериментально-лабораторными и опытно-промышленными испытаниями подтверждена зависимость определения значения показателя чистоты СОЖ $\delta_{вы.}$ после очистки в магнитном отстойнике, с учетом явления магнитной коагуляции. Относительная погрешность теоретической зависимости с экспериментальными данными не превышает 10 %.

РАЗДЕЛ 5

НАУЧНО ПРАКТИЧЕСКАЯ ЗНАЧИМОСТЬ И ТЕХНИКО-ЭКОНОМИЧЕСКАЯ ОЦЕНКА РЕЗУЛЬТАТОВ ИССЛЕДОВАНИЙ

Эффективность технологического процесса абразивной обработки восстанавливаемых деталей транспортной техники рассматривается в следующих основных аспектах: техническом, экономическом и социальном.

Технический эффект выражается в повышении качества ремонта деталей автомобилей абразивной обработкой за счет эффективного извлечения из СОЖ механических примесей являющегося основой для дальнейшего совершенствования технологического процесса ремонта деталей средств транспорта.

5.1. Разработка энергосберегающей системы извлечения магнитных частиц из СОЖ при абразивной обработке деталей средств транспорта

Повышение эффективности абразивной обработки деталей транспортной техники путем извлечения из СОЖ механических примесей привело к созданию новой конструкции магнитного отстойника, в котором:

- достигнута универсальность, позволяющая использовать отстойник без замены рабочих органов при минимальном объеме технологических

- регулировок для очистки СОЖ;

- высокая производительность в сочетании с эффективностью обеспечиваемая, с одной стороны, рациональным использованием всех компонентов сложного электромагнитного поля, с

другой – рациональной конструкцией, выполненной на уровне изобретений и являющихся основой для дальнейшего совершенствования технологии процесса ремонта транспортной техники.

Анализ развития электромагнитных установок для технологического процесса ремонта транспортной техники и научно-исследовательских работ по созданию экспериментальных образцов электромагнитных установок показывает, что главными направлениями её совершенствования являются:

- снижение энергоёмкости технологического процесса;
- улучшение энергетических показателей и экономичности электромагнитных установок;
- разработка многофункциональных электромагнитных установок;
- расширение области применения магнитной энергии для использования в технологических процессах ремонта деталей транспортной техники.

В результате для повышения точности соблюдения параметров очистки и снижения аварийности разработана схема автоматического управления магнитным отстойником, внедрение которой даст возможность снизить потребление электроэнергии на 7 % за счет установления системы автоматического управления [12,178]. Схема электрическая принципиальная приведена на рис. 5.1.

Схема состоит из магнитного пускателя КМ1 с силовыми контактами КМ1.1, промежуточного реле КЛ1, при этом замыкающий контакт промежуточного реле КЛ1.1 располагаются в цепи питания катушки магнитного пускателя КМ1, а дополнительный замыкающий контакт магнитного пускателя КМ1.2 в цепи питания катушки промежуточного реле КЛ, чем достигается защита токоприемников от неполнофазного режима работы [179].

Для контроля изменения концентрации магнитных частиц в СОЖ предусмотрен блок А индукционного принципа действия, заключающегося в изменении магнитного потока внутри обмотки датчика LL, который находится в зоне протекания СОЖ, с выдачей соответствующего сигнала на регу-

$$\hat{E}_y = \frac{O_i - O_{i\dot{n}\dot{o}}}{\dot{O}_i}, \quad (5.1)$$

где K_3 - предельное значение критерия эффективности восстановления денежном выражении за единицу ресурса, грн./мото-час (грн./км);

Π_n - стоимость новой детали, грн.;

$\Pi_{ост}$ - остаточная стоимость детали на момент ее восстановления, грн.;

T_n - ресурс новой детали до очередного восстановления, мото/час.

После выбора технологического способа восстановления детали рассчитывается действительный критерий эффективности K_6 восстановления детали:

$$K_6 = \frac{\Pi_{ост1} + C_6 + E_n \cdot K_n - \Pi_{ост2}}{T_p}, \quad (5.2)$$

где $\Pi_{ост1}$ - остаточная стоимость детали с учетом всех транспортно-заготовочных работ, грн;

$\Pi_{ост2}$ - остаточная стоимость детали по окончании межремонтного периода, грн.;

C_6 - себестоимость восстановления детали, грн.;

E_n - нормативный коэффициент эффективности;

K_n - удельные капитальные вложения на одну деталь, грн;

T_p - ресурс детали после восстановления, мото/час.

Внедрение мероприятий по повышению качества ремонта деталей может вызвать увеличение себестоимости восстановления C_6 . Таким образом, оптимальным критерием эффективности восстановления будет тот, при ко-

тором суммарные затраты на восстановление, эксплуатацию и устранение отказов, приходящиеся на единицу наработки, будут наименьшими.

В качестве основного показателя экономической эффективности абразивной обработки восстанавливаемых деталей автомобилей совершенствованием очистки смазочно-охлаждающей жидкости принимается экономический эффект, определяемый на единицу или годовой объем производства в расчетном году, представляющий собой суммарную экономию всех производственных ресурсов, которые получает ремонтное предприятие транспортной техники в результате получения дополнительной прибыли от сокращения затрат на приобретение новых партий жидкостей [13].

Для обеспечения адекватного в масштабе всего общественного производства подхода к оценке экономической эффективности в расчетах используется единый нормативный коэффициент экономической эффективности капитальных вложений E_H , равный 0,15 [176,177].

При расчетах годового экономического эффекта учитывался фактор времени в тех случаях, когда капитальные вложения затрачиваются в течение ряда лет, а также, когда текущие издержки и результаты производства вследствие изменения режима работы существенно меняются по годам эксплуатации путем приведения к началу расчетного года единовременных капитальных и текущих затрат на создание и внедрение магнитных устройств.

Определение годового экономического эффекта основывается на сопоставлении приведенных затрат по базовому и проектируемому вариантам в расчетном году. Для объективности проектный вариант магнитного отстойника приведен к одинаковым условиям с базовым магнитным сепаратором ОМ-2М применяемом на предприятии ВАТ "Роменский з-д "Тракторзапчасть": на круглошлифовальном станке модели 3А151 обрабатывали коленчатые валы двигателя ЗИЛ с одинаковыми расходами смазочно-охлаждающей жидкости. В качестве СОЖ использовали 3 %-ную эмульсию Укринол-1.

Расчет ведется по годовым текущим затратам, связанным с эксплуатацией очистителей.

Годовая производительность:

$$B = П \cdot 8 \cdot 300, \quad (5.3)$$

где П - техническая производительность, т/ч;

8 - количество часов работы оборудования в смену;

300 - количество смен работы в году.

Определение размера капиталовложений:

— затраты на монтаж и доставку:

$$З = C_{\Sigma} \cdot 0,05, \quad (5.4)$$

где C_{Σ} - суммарная стоимость очистителя, грн;

0,05 - норма расхода на монтаж оборудования.

Полные капитальные вложения, определяются из выражения:

$$K = C_{\Sigma} + З. \quad (5.5)$$

Затраты, связанные с эксплуатацией очистителей на операциях круглого наружного и плоского шлифования при ремонте транспортной техники:

— расходы на электроэнергию:

$$C_{эл} = P \cdot 8 \cdot 300 \cdot \Pi_{эл} \cdot 12, \quad (5.6)$$

где P - установленная мощность установки, кВт;

$\Pi_{эл}$ - стоимость 1 кВт·ч электроэнергии; $\Pi_{эл} = 0,4$ грн./кВт·ч;

1,2 - коэффициент, который учитывает налог на добавленную стоимость.

Расходы на капитальный, текущий ремонты и содержание оборудования:

$$\kappa = \frac{K \cdot (3,0 + 5,4)}{100}, \quad (5.7)$$

где 3,0 - норма расходов на капитальный ремонт оборудования, %;
5,4 - норма расходов на текущий ремонт и содержание оборудования, %.

Ожидаемая дополнительная прибыль на 25 %, за счет увеличения срока службы СОЖ с нормируемым содержанием механических примесей, а также на 7 %, за счет установка системы автоматического управления, внедрение которой даст возможность снизить потребление электроэнергии.

Ожидаемая дополнительная прибыль будет составлять:

$$P_b = (C \cdot Q - (C \cdot Q \cdot 0,75) - (C_{эб} - (C_{эн} \cdot 0,93)), \quad (5.8)$$

где C - стоимость 1 литра СОЖ, грн/л;

Q - годовой расход СОЖ на один станок, с учетом корректировки, кг/год;

$C_{эл}$ - расходы на электроэнергию по базовому и проектируемому вариантам, соответственно, грн.

Экономическая эффективность от внедрения в производство ремонта транспортной техники магнитного отстойника определяется из выражения:

$$\mathfrak{Z} = \mathfrak{Z}_6 \cdot \frac{B_n}{B_6} \cdot \frac{p_6 + E_H}{p_n + E_H} + \frac{I_n - I_6 - E_H \cdot (K_n - K_6)}{p_n + E_H} - \mathfrak{Z}_n, \quad (5.9)$$

где B_B, B_{II} - производительность магнитных очистителей для базового и проектного варианта соответственно, т/год;

p_B, p_n - доля отчислений от балансовой стоимости;

I_B, I_{II} - текущие расходы, грн.

Срок окупаемости капитальных вложений:

$$T_{ок} = \frac{\mathfrak{Z}_{II} + K_{II}}{\mathfrak{Z}}. \quad (5.10)$$

Таблица 5.1

Результаты расчета экономической эффективности

Наименование показателя	Единицы измерения	Базовый магнитный сепаратор	Проектируемый магнитный отстойник
1	2	3	4
1. Машинное время на технологическую операцию,	мин	3,6	3,6
2. Экономия времени правки круга на одну деталь	мин	-	0,14
3. Производительность очистителя	т/ч	0,6	0,6
4. Показатель чистоты очищенной СОЖ	г/л	0,7	0,05
5. Суммарные капиталовложения, в т. ч:	грн.	945	630
стоимость очистителя;	грн.	900	600
затраты на монтаж и доставку;	грн.	45	30
6. Установленная мощность	кВт	1,5	2,0
7. Суммарные годовые затраты, в т, ч:	грн.	1807,38	2356,92
- расходы на капитальный, текущий ремонт и содержание оборудования,	грн.	79,38	52,92
- затраты на электроэнергию	грн.	1728	2304

Продолж. табл. 5.1

1	2	3	4
8. Стоимость СОЖ (3 %-ная эмульсия Ук-ринол-1 (декабрь 2007г.).	грн./л	5,5	5,5
9. Ожидаемая дополнительная прибыль, в т.ч:	грн.	-	4122,72
за счет увеличения срока службы инстру-мента	грн.	-	125,0
за счет увеличения срока службы СОЖ;	грн.	-	1980
за счет внедрения системы автоматического управления.	грн.	-	161,28
10. Межремонтный пробег автомобиля	тыс. км	65	65
11. Экономическая эффективность	грн./год	-	5585,6
12. Срок окупаемости капитальных вложений	лет	-	0,12

Неточность полученных результатов зависит от нестабильности цен на энерго-материалоресурсы и состояние рынка СОЖ.

Внедрение опытного образца магнитного отстойника является экономически целесообразным, о чем свидетельствует значительная разница между расчетным сроком окупаемости в сравнении с нормативным (0,12 г.<<1/ $E_H=6,67$ г.).

Выводы по разделу

- в результате выполненных исследований для повышения эффективности абразивной обработки восстанавливаемых деталей средств транспорта разработаны принципиально новые электромагнитные устройства и усовершенствованы существующие для очистки СОЖ от механических примесей (новизна технических решений защищена 5-ю патентами Украины);

- отдельные конструкции - электромагнитный сепаратор (отстойник (Пат. 22891 Украина, МПК⁷ B03C1/02) и электромагнитный фильтр-сепаратор (Пат. 11072 Украина, МПК⁷ B03C1/00) внедрены (приняты к внедрению) в технологическом процессе ремонта деталей транспортной техники;

- при апробации разработанной конструкции магнитного отстойника в лабораторных и промышленных условиях установлена высокая эффективность работы, которая позволит получить экономический эффект 5585,6 грн/год. на одно рабочее место при сроке окупаемости капитальных вложений 0,12 года.

Совокупность полученных результатов по применению магнитного поля для очистки СОЖ от механических примесей при абразивной обработке резанием деталей транспортной техники является одной из решенных научных задач в общей проблеме – улучшение эффективности технологического процесса ремонта транспортной техники и рационального использования энергетических и материальных ресурсов.

ВЫВОДЫ

1. Интенсификация технологического процесса механической обработки (в частности абразивной) восстанавливаемых деталей автомобилей невозможна без совершенствования очистки смазочно-охлаждающих жидкостей (СОЖ), так как в ремонтном производстве необходимо учитывать то, что ее загрязненность в 2- 3 раза выше загрязненности СОЖ при шлифовании заготовок деталей.

2. Существующие промышленные устройства и системы извлечения механических примесей из СОЖ энергозатратны (мощность установки 3,0-4,5 кВт) и малоэффективны (уровень очистки не превышает 68-75%)

3. Установлено, что снижение износа зерен шлифовального круга при абразивной обработке восстановленных деталей автомобилей, вследствие очистки СОЖ (до 90-95%) уменьшает параметр шероховатости на 35 % с одновременным увеличением машинного времени обработки до 70 % за счет повышения в 2,0 -2,5 раза стойкости шлифовального круга. А это приводит к увеличению почти в 2 раза производительности процесса абразивной обработки при ремонте деталей транспортных средств.

4. Для определения основных динамических характеристик частиц, содержащихся в СОЖ разработана математическая модель их извлечения, которая позволила установить зависимость скорости перемещения частиц ($v_{\text{ч}}$), траектории извлечения частиц в отстойнике (Y), времени перемещения частиц ($t_{\text{ов}}$) от различных параметров системы извлечения, размера частиц ($d_{\text{ч}}$ = 5,0-30 мкм) и напряженности магнитного поля ($H = 0,8 \cdot 10^4 - 4,0 \cdot 10^4$ А/м).

5. Для эффективной очистки СОЖ впервые предложен метод расчета некоторых элементов конструкций магнитных отстойников, получены эмпирические зависимости, связывающие электротехнические параметры (число

витков источника магнитного поля W , силы тока в обмотке I , длина обмотки $l_{обм}$) с учетом параметров извлекаемых частиц (размер $d_{ч}$, магнитная восприимчивость χ) и технологические параметры (динамическая вязкость среды μ_c , скорость потока v_n). Полученные параметры конструкции магнитного отстойника для абразивной обработки коленчатого вала двигателя ЗИЛ (Пат. 22891 Украина, МПК⁷ B03C1/02; Пат. 11072 Украина, МПК⁷ B03C1/00) позволили экономить электротехнические материалы на 40 % и электрическую энергию (уменьшение потребляемой мощности установки на 0,5 кВт).

6. Для усовершенствования магнитных отстойников, используемых в ремонте производстве, разработана номограмма для определения зависимости показателя чистоты $\delta_{вых}$ СОЖ от количества витков в обмотке W , входной концентрации механических примесей $\delta_{вх}$, величины силы тока I . Это позволило увеличить количество извлечения механических примесей из СОЖ на 12-15 % по сравнению с промышленными очистителями, снизить энергозатраты на шлифование до 27 % и в 1,2-1,5 раз улучшить эффективность ремонтного производства.

7. Опытный образец магнитного отстойника прошел промышленные испытания на ремонтном производстве деталей транспортной техники “Тракторзапчасть” г. Ромны Сумской области, конструктивная документация передана этому предприятию. Ожидаемый годовой экономический эффект составил 5,5 тыс. грн. на одно рабочее место, при сроке окупаемости 0,12 года. Промышленное апробирование разработанной технологии абразивной обработки деталей было произведено на ремонтном предприятии средств транспорта “Руслан” г. Мелитополь Запорожской области.

Акты внедрения

ПРИЛОЖЕНИЕ А

«ЗАТВЕРДЖУЮ»

Голова правління

ВАТ "Роменський завод "Тракторзапчасть"

С.С. Бережний

«10» 04/19 2008 р.



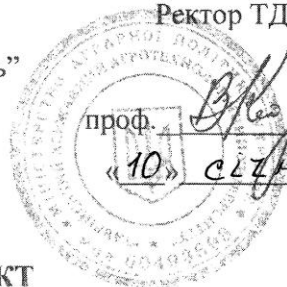
«ЗАТВЕРДЖУЮ»

Ректор ТДАТУ

проф.

В.М. Кюрчев

«10» 04/19 2008 р.



АКТ

**про впровадження результатів науково-дослідних,
дослідно-конструкторських і технологічних робіт**

Ми, що підписалися нижче, представники ВАТ "Роменський завод "Тракторзапчасть" головний інженер Романюта С.Д., головний бухгалтер Якименко Т.І., гол. технолог Баргамон Л.М. з одного боку, представники Таврійського державного агротехнологічного університету (ТДАТУ) д.т.н., проф. кафедри «Електрифіковані технології АПК» Просвірнін В.І. (керівник теми наукової підпрограми), інженер Гулевський В.Б. (відповідальний виконавець) з іншого боку склали цей акт про те, що відповідно до теми наукової підпрограми ТДАТУ 1.9.2.1: "Розробка і дослідження моделі магнітного відстійника" (2007 - 2010) на ВАТ "Роменський з-д "Тракторзапчасть" впроваджено результати науково-дослідних, дослідно-конструкторських і технологічних робіт, а саме:

1. Технічна документація на дослідний зразок магнітного відстійника для вилучення магнітних часток з мастильно-охолоджуючих рідин при ремонті деталей транспортної техніки (протокол передачі технічної документації додається);
2. Програма і методика виробничих випробувань дослідного зразка магнітного відстійника.
3. Дослідний зразок магнітного відстійника (акт виробничих випробувань додається).

Очікуваний річний економічний ефект від впровадження магнітного від-

стійника і термін окупності обчислювалися у відповідності з загальноприйнятими методиками визначення економічної ефективності нової техніки та раціоналізаторських пропозицій і орієнтовно склали: річний економічний ефект 5,5 тис. грн., термін окупності – 0,12 року.

Впровадження вказаних результатів дозволяє підвищити ефективність вилучення магнітних часток з 83-87 % до 95 - 97 %;

Дирекція ВАТ "Роменський завод "Тракторзапчасті" вважає за доцільне долучити проектну організацію для розробки робочої документації на промисловий зразок магнітного відстійника для подальшого введення її до експлуатації на підприємстві.

Додатки:

1. Протокол передачі технічної документації на 2 стор в 1 прим.;
2. Акт виробничих випробувань на 2 стор в 1 прим.;
3. Розрахунок економічної ефективності впровадження на 3 стор. в 1 прим.

Представники

від ВАТ "Роменський завод
"Тракторзапчасті"

гол. бухгалтер



Якименко Т.І

гол. інженер



Романюта С.Д.

гол. технолог

Баргамон Л.М.

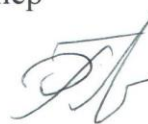
від ТДАТУ:

д.т.н., проф. каф. «Електрифіковані
технології АПК»



В.І. Просвірнін

інженер



В.Б. Гулевський



«ЗАТВЕРДЖУЮ»

Голова правління
Роменського з-ду “Тракторзапчасть”
С.С. Бережний
«10» СІЧНЯ 2008 р



ПРОТОКОЛ

технічної наради з питання передачі технічної документації на
магнітний відстійник для вилучення магнітних часток з мастильно-
охолоджуючих рідин та його подальшого виробничого випробування

ПРИСУТНІ:

Від ВАТ “Роменский завод “Тракторзапчасть” голова правління С.С. Бе-
режний, гол. інженер Романюта С.Д. , гол. енергетик Романюта Д. С., гол. техно-
лог Баргамон Л.М; від Таврійського державного агротехнологічного університету
д.т.н.,проф. В.І. Просвірнін, інженер В.Б. Гулевський.

СЛУХАЛИ: інформацію проф. Просвірніна В.І. та інж. Гулевського В.Б.
про конструкцію, технічні характеристики, які додаються, програму і методику
випробування дослідного зразка магнітного відстійника для вилучення магнітних
часток з мастильно-охолоджуючих рідин при ремонті транспортної техніки.

ВИСТУПИЛИ: гол. технолог Баргамон Л.М., гол. енергетик Романюта Д.С.

УХВАЛИЛИ:

1. Таврійському державному агротехнологічному університету передати
з -ду “Тракторзапчасть” технічний проект на дослідний зразок магнітного від-
стійника для подальшого опрацювання, монтажу і виробничих випробувань.
2. Вважати за доцільне використання дослідного зразка магнітного відстій-
ника, згідно представленої технічній документації в резервній технологічній лінії
очищення мастильно-охолоджуючих рідин.

3. Нагляд за виготовленням, монтажем і виробничими випробуваннями системи очищення мастильно-охолоджуючих рідин покласти: від ВАТ "Роменский завод "Тракторзапчасть" на гол. інженера Романюта С.Д., від Таврійського державного агротехнологічного університету на інженера Гулевського В.Б.

4. Головному інженеру Романюті С.Д. і головному технологу Баргамон Л.М надати можливість очищення мастильно-охолоджуючих рідин на резервній технологічній лінії з ремонту деталей транспортної техніки, у складі якої передбачається наявність системи виявлення і вилучення магнітних часток.

5. Економічні розрахунки покласти на відповідні підрозділи підприємства і ТДАТУ.

Представники

від ВАТ "Роменский завод

від ТДАТУ:

"Тракторзапчасть"

гол. інженер



Романюта С.Д.

д.т.н., проф. каф. "ЕТ АПК"



В.І. Просвірнін

гол. енергетик



Романюта Д. С.

інженер



Гулевський В.Б

гол. технолог

Баргамон Л.М



«ЗАТВЕРДЖУЮ»

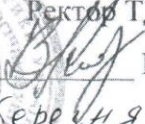
Директор приватного підприємства
ремонту засобів транспорту "Руслан"

 Р.І. Семенов
«03» серезня 2008 р.



«ЗАТВЕРДЖУЮ»



Ректор ТДАТУ
проф.  В.М. Кюрчев
«03» серезня 2008 р.

АКТ

**про впровадження результатів науково-дослідних,
дослідно-конструкторських і технологічних робіт в
процес ремонту засобів транспорту**

Ми, що підписалися нижче, представники приватного підприємства ремонту засобів транспорту "Руслан" головний інженер Ігнатова В.А., головний бухгалтер Єрмоленко В.А., гол. технолог Зубова Н.А. з одного боку, представники Таврійського державного агротехнологічного університету (ТДАТУ) д.т.н., проф. Просвірнін В.І., інженер Гулевський В.Б. та представник Харківського національного автомобільно-дорожнього університету (ХНАДУ) к. т. н., доцент Савченков Б. В. з іншого боку, склали цей акт про те, що на ПП "Руслан" впроваджено результати науково-дослідних, дослідно-конструкторських і технологічних робіт, а саме:

1. Технічна документація на дослідний зразок магнітного відстійника для вилучення механічних домішок з мастильно-охолоджуючих рідин при ремонті деталей транспортної техніки (протокол передачі технічної документації додається);
2. Програма і методика виробничих випробувань дослідного зразка магнітного відстійника.
3. Дослідний зразок магнітного відстійника (акт виробничих випробувань додається).

Очікуваний річний економічний ефект від впровадження магнітного від-

стійника і термін окупності обчислювалися у відповідності з загально прийнятими методиками визначення економічної ефективності нової техніки та раціоналізаторських пропозицій і орієнтовно склали: річний економічний ефект 1,5 тис. грн., термін окупності – 0,5 року.

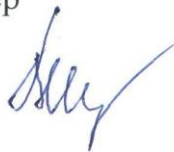
Впровадження вказаних результатів дозволяє підвищити ефективність вилучення механічних домішок з 65 - 75 % до 93 - 95 %.

Дирекція ПП “Руслан” вважає за доцільне долучити проектну організацію для розробки робочої документації на промисловий зразок магнітного відстійника для подальшого введення її до експлуатації на підприємстві.

Представники

від ПП “Руслан”

гол. інженер



В.А Ігнатова

гол. технолог



Н.А. Зубова

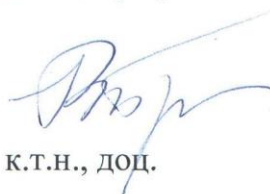
гол. бухгалтер



В.А. Єрмоленко

від ТДАТУ та ХНАДУ

д.т.н., проф.



В.І. Просвірнін

к.т.н., доц.



Б. В. Савченков

інженер



В.Б. Гулевський



Україна,
Запорізька область
м. Мелітополь

«ЗАТВЕРДЖУЮ»
Директор приватного підприємства
ремонту засобів транспорту «Руслан»
Р.І. Семенов
«03» березня 2008 р.

АКТ

виробничих випробувань*

Ми, що підписалися нижче, представники приватного підприємства ремонту засобів транспорту “Руслан” головний інженер Ігнатова В.А., гол. технолог Зубова Н.А., гол. енергетик Моніт В.О з одного боку, представники Таврійського державного агротехнологічного університету (ТДАТУ) д.т.н., проф. Просвірнін В.І., інженер Гулевський В.Б. та представник Харківського національного автомобільно-дорожнього університету (ХНАДУ) к. т. н., доцент Савченков Б. В. з іншого боку, склали цей акт про те що в лютому 2008 р. на підприємстві “Руслан” проведено монтаж і виробничі випробування дослідного зразка магнітного відстійника для вилучення механічних домішок з мастильно-охолоджуючих рідин (МОР) при ремонті деталей транспортної техніки.

На шліфувальному верстаті 3423 проводили відновлення шийок колінчастих валів зі сталі 45. Шліфували кругом 24A40C1K5, при робочій швидкості круга $v_k = 25$ м/с, швидкість обертання деталі $v_d = 35,0$ м/хв, радіальна подача круга t_p знаходилася в діапазоні від 0,001 до 0,006 мм.. Необхідні величини шорсткості поверхні деталі складали $Ra = 0,32 - 0,63$.

* Додаток: акт про впровадження результатів науково – дослідних і технологічних робіт

Як МОР застосували 3 %-ну емульсію Укріол-1, яку подавали в зону шліфування поливом.

МОР очищали від механічних домішок за допомогою магнітного сепаратора і дослідного магнітного відстійника. В наслідок неможливого візуального спостереження, на виході брали проби очищеної МОР і визначали масову концентрацію механічних домішок по методиці випробувань змащувально-охолоджуючих рідин (ГОСТ Р 50558-93). В результаті випробувань було встановлено, що порівняно з базовим варіантом, при очищенні МОР ефективність вилучення механічних домішок концентрацією від 0,25 до 1,0 г/л і вище збільшилась з 65-75% до 93-95%.

Представники

від ПП "Руслан"

гол. інженер



Ігнатова В.А

гол. технолог



Зубова Н.А

гол. енергетик



Моніт В.О

від ТДАТУ та ХНАДУ

д.т.н., проф.



В.І. Просвірнін

к.т.н., доц.



Б. В. Савченков

інженер



В.Б. Гулевський



*Додаток до акту про впровадження
результатів науково-дослідних,
дослідно-конструкторських
і технологічних робіт*

**Розрахунок очікуваної економічної ефективності
від впровадження дослідного зразка магнітного відстійника
для вилучення механічних домішок з мастильно-охолоджуючих рідин**

Розрахунки техніко-економічної ефективності виконані для обґрунтування ефективних напрямів НДР; визначення доцільності проектування і подальшого серійного виготовлення нових пристроїв.

Визначення річного економічного ефекту ґрунтується на порівнянні приведених витрат по базовому і проектованому варіантах в розрахунковому році. Для об'єктивності проектний варіант магнітного відстійника приведений до однакових умов з базовим магнітним очисником МО 45, який застосовується на підприємстві ПП "Руслан". На шліфувальному верстаті 3423 проводили відновлення шийок колінчастих валів зі сталі 45

Розрахункові формули:

Річний економічний ефект, грн.:

$$\mathcal{E} = \left[3_{\text{б}} \cdot \frac{B_{\text{п}}}{B_{\text{б}}} \cdot \frac{p_{\text{б}} + E_{\text{н}}}{p_{\text{п}} + E_{\text{н}}} + \frac{(I_{\text{б}} - I_{\text{п}}) - E_{\text{н}} \cdot (K_{\text{п}} - K_{\text{б}})}{p_{\text{п}} + E_{\text{н}}} - 3_{\text{п}} \right]$$

де $3_{\text{б}}, 3_{\text{п}}$ - приведені витрати для базового і проектного варіанту відповідно; $B_{\text{б}}, B_{\text{п}}$ - продуктивність магнітних очисників, т/год.; $p_{\text{б}}, p_{\text{п}}$ - частка відрахувань від балансової вартості; $E_{\text{н}}$ - нормативний коефіцієнт ефективності; $I_{\text{б}}, I_{\text{п}}$ - поточні витрати, грн.; $K_{\text{п}}, K_{\text{б}}$ - супутні капітальні вкладення, грн.

Термін окупності капітальних вкладень, років.:

$$T_{\text{ок}} = \frac{3_{\text{п}} + K_{\text{п}}}{\mathcal{E}}$$

Результати розрахунків економічної ефективності надані в таблиці 1

Результати розрахунків економічної ефективності

Найменування показника	Одиниці вимірювання	Базовий магнітний сепаратор	Проектний магнітний відстійник
1. Продуктивність очищувача	т/год.	0,5	0,5
2. Показник чистоти очищеної МОР	г/л	1,2	0,16
3. Сумарні капіталовкладення, в т. ч:	грн.	1617	630
вартість очищувача;	грн.	1540	600
витрати на монтаж і доставку;	грн.	77	30
4. Встановлена потужність	кВт	2,0	2,0
5. Сумарні річні витрати, в т. ч:	грн.	2439,8	2356,92
витрати на капітальний, поточний ремонт і зміст устаткування	грн.	135,8	52,92
витрати на електроенергію	грн.	2304	2304
6. Вартість МОР (3 %-на емульсія Укрінол-1 (лютий 2008р.).	грн./л	7,0	7,0
7. Очікуваний додатковий прибуток, в т.ч:	грн.	-	2787
за рахунок збільшення терміну служби МОР;	грн.	-	2625
за рахунок впровадження системи автоматичного управління.	грн.	-	162,0
8. Економічна ефективність	грн./рік	-	1585,6
9. Термін окупності капітальних вкладень	років	-	0,5

Впровадження дослідного зразка є економічно доцільним, про що свідчить значна різниця між розрахунковим терміном окупності в порівнянні з нормативним ($1,2 \dots 1,3 \text{ р.} < 1/E_H = 0,5 \text{ р.}$)

Неточність отриманого результату залежить від нестабільності цін на енерго-матеріалоресурси і стану ринку МОР

Представники

від ПП "Руслан"

гол. бухгалтер



Єрмоленко В.А

від ТДАТУ та ХНАДУ:

д.т.н., проф.



В.І. Просвірнін

к.т.н. доц.

Б. В. Савченков

інженер



В.Б Гулевський

»

«ЗАТВЕРДЖУЮ»

Директор приватного підприємства
ремонту засобів транспорту "Руслан"

Р.І. Семенов

«03» березня 2008 р

ПРОТОКОЛ

технічної наради з питання передачі технічної документації на
магнітний відстійник для вилучення механічних домішок
з мастильно-охолоджуючих рідин та його подальшого
виробничого випробування

ПРИСУТНІ:

Від приватного підприємства ремонту засобів транспорту "Руслан", гол. інженер Ігнатова В.А., гол. енергетик Моніт В.О., гол. технолог Зубова Н.А.; від Таврійського державного агротехнологічного університету д.т.н., проф. В.І. Просвірін, інженер В.Б. Гулевський, від Харківського національного автомобільно-дорожнього університету к. т. н., доцент Савченков Б. В.

СЛУХАЛИ: інформацію проф. Просвіріна В.І. та інж. Гулевського В.Б. про конструкцію, технічні характеристики, які додаються, програму і методику випробування дослідного зразка магнітного відстійника для вилучення механічних домішок з мастильно-охолоджуючих рідин при ремонті транспортної техніки.

ВИСТУПИЛИ: гол. технолог Зубова Н.А., гол. енергетик Моніт В.О.

УХВАЛИЛИ:

1. Таврійському державному агротехнологічному університету передати ПП "Руслан" технічний проект на дослідний зразок магнітного відстійника для подальшого опрацювання, монтажу і виробничих випробувань.

2. Вважати за доцільне використання дослідного зразка магнітного відстійника, згідно представленої технічної документації в резервній технологічній лінії очищення мастильно-охолоджуючих рідин.

3. Нагляд за виготовленням, монтажем і виробничими випробуваннями системи очищення мастильно-охолоджуючих рідин покласти: від ПП “Руслан”, на гол. інженера Ігнатову В.А., від Таврійського державного агротехнологічного університету на інженера Гулевського В.Б.

4. Головному інженеру Ігнатовій В.А. і головному технологу Зубовій Н.А. надати можливість очищення мастильно-охолоджуючих рідин на резервній технологічній лінії з ремонту деталей транспортної техніки, у складі якої передбачається наявність системи очищення МОР.

Представники

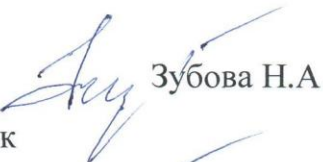
від ПП “Руслан”

гол. інженер



Ігнатова В.А.

гол. технолог



Зубова Н.А.

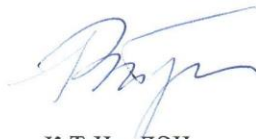
гол. енергетик



Моніт В.О.

від ТДАТУ та ХНАДУ

д.т.н., проф.



В.І. Просвірнін

к.т.н., доц.

Б. В. Савченко

інженер



В.Б. Гулевський



СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННОЙ ЛИТЕРАТУРЫ

1. Тельнов Н. Ф. Ремонт машин / Н. Ф. Тельнов, А.А. Очкасов, Е. И. Бадаров – М.: Агропромиздат, 1992. - 558 с.
2. Шадричев В.А. Ремонт автомобилей: учебник для студентов вузов специальности 1609 / В.А. Шадричев – М.: Высшая школа, 1970. - 480 с.
3. Латышев В.Н. Повышение эффективности СОЖ / В.Н. Латышев. – 2-е изд., перераб. и доп. – М.: Машиностроение, 1985. - 64 с.
4. Энгелис С.Г. Смазочно-охлаждающие технологические средства для обработки металлов резанием: справочник / С.Г. Энгелис и др. - М.: Машиностроение, 1995. - 164 с.
5. Коновалов В. М. Очистка рабочих жидкостей в гидроприводах станков / В. М. Коновалов, В. Я. Скрицкий, В. А. Рокшевский. – М.: Машиностроение, 1976. -288 с.
6. Просвірнін В.І. Аналіз забруднень мастильно-охолоджувальних рідин при відновленні деталей транспортної техніки / В.І. Просвірнін, В.Б. Гулевський, Б.В. Савченко // Проблеми надійності машин та засобів механізації сільськогосподарського виробництва : Вісник ХНТУСГ. – Харків, 2008.- Вип.69.– С. 162-167.
7. Просвірнін В.І. Вплив чистоти мастильно - охолоджувальних рідин на якість поверхні деталей при ремонті транспортної техніки / В.І. Просвірнін, В.Б. Гулевський, Б.В. Савченко // Вісник Національного технічного університету “Харківський політехнічний інститут.” Технології в машинобудуванні. – Харків, 2008. - №22. - С. 57-60.
8. Просвирнин В.И. Очистка технических жидкостей в магнитных отстойниках / В.И. Просвирнин, Е.П. Масюткин, В.Б. Гулевский // Праці Таврійської державної агротехнічної академії. - Мелітополь, 2004.- Вип. 24.- С. 39-47.
9. Гулевский В.Б. К вопросу коагуляции частиц в электрическом поле / В.Б. Гулевский, И.П. Назаренко, В.И. Просвирнин // Праці Таврійської державної агротехнічної академії. – Мелітополь, 2004. – Вип. 19.- С. 50 -55.

10. Пат. 11072 Україна, МПК⁷ B03C1/00. Електромагнітний фільтр-сепаратор / Є.П. Масюткін, В.Б. Гулевський, В.І. Просвірнін, Д.Є. Масюткін (Україна). - № u2005 04571; заявл. 16.05.2005; опубл. 15.12.2005, Бюл.№ 12. - 3 с.
11. Пат. 22891 Україна, МПК⁷ B03C1/02. Електромагнітний сепаратор - відстійник / В.І. Просвірнін, В.Б. Гулевський, Е.В. Просвірніна та ін. (Україна). - № u 200614069; заявл. 29.12.2006; опубл. 25.04.2007, Бюл.№ 5. - 4 с.
12. Хассай Д.В. К вопросу совершенствования электротехнологических систем извлечения ферромагнитных тел из сыпучих материалов / Д.В. Хассай, И.О. Кузнецов, В.Б. Гулевский // Праці Таврійської державної агротехнічної академії. - Мелітополь, 2002. - Вип. 9. - С. 61 – 64.
13. Технологія та обладнання для відновлення автомобільних деталей / В.Є. Канарчук, А. Д. Чигринець, О.Л. Голяк, П.М. Шоцький. – К.: ІСДО, 1993. - 480 с.
14. Богданович П.Н. Трение и износ в машинах / П.Н. Богданович, В.Я. Прушак. – Мн.: Выш. шк., 1999. - 374 с.
15. Григорьев М.А. Износ и долговечность автомобильных двигателей. / М.А. Григорьев, Н.Н. Пономарев. - М.: Машиностроение, 1986.- 248 с.
16. Фролов К. В. Проблемы надежности и ресурса в машиностроении / К. В. Фролов, А. П. Гусенков. - М.: Наука, 1986. - 247 с.
17. Есерберлин Р. Е. Капитальный ремонт автомобилей: теория, методология и практика / Р. Е. Есерберлин. – М.: Транспорт, 1989. - 335 с.
18. Воловик Е. Л. Справочник по восстановлению деталей / Е. Л. Воловик.. - М.: Колос, 1981.- 351 с.
19. Некрасов С.С. Обработка материалов резанием / С.С. Некрасов. – М.: Агропромиздат, 1988. - 336 с.
20. Рассказы из истории русской науки и техники / В.Н. Болховитинов, А.Ф. Буянов, В. Д. Захарченко, Г.Н. Остроумов; под общей ред. В. Орлова. - М.: Молодая гвардия, 1957. - 590 с.
21. Киселев Е. С. Научные основы и технология шлифования заготовок: сборник учебно-исследовательских лабораторных работ / Е. С. Киселев, В. Н. Ковальногов. – Ульяновск: УлГТУ, 2006. - 52 с.

22. Островский В.И. Теоретические основы процесса шлифования / В.И. Островский. – Л: ЛГЦ, 1981. - 144 с.
23. Волчок И.П. Системы современных технологий: учебник для студентов экономических специальностей высших учебных заведений / И.П. Волчок, С.Б. Беликов. – 2-е изд., перераб. и доп. - Запорожье: Мотор Січ, 2004. - 352 с.
24. Общие машиностроительные нормативы режимов резания для технического нормирования работ на металлорежущих станках. Ч.3. Протяжные, шлифовальные и доводочные станки. – М.: Машиностроение, 1978. - 360 с.
25. Суслов, А. Г. Качество поверхностного слоя деталей машин / А. Г. Суслов. -М. : Машиностроение, 2000. - 320 с.
26. Кулаков, Ю. М. Предотвращение дефектов при шлифовании / Ю. М. Кулаков, В.А. Хрульков, И. В. Дунин-Барковский. – М. :Машиностроение, 1975. - 240 с.
27. Энтелис С.Г. Смазочно-охлаждающие технологические средства для обработки металлов резанием. / С.Г. Энтелис, Э.М. Берлине. – М.: Машиностроение, 1986 - 352 с.
28. Кисилев Е.С. Влияние состава и способа подачи СОЖ на качество и эксплуатационные характеристики шлифованных деталей / Е.С. Кисилев, Ж.К. Джавахия, А.Н. Унянин // Станки и инструмент. - 1985. -№ 6. - С. 25-26.
29. Киселев Е.С. Новая техника подачи СОЖ в зону шлифования / Е.С. Киселев, А.Н. Унянин // Научно-технические достижения. - М.: ВИМИ, 1987.- Вып. 4.- С.27 - 31.
30. Ефимов В.В. Научные основы техники подачи СОЖ при шлифовании / В.В. Ефимов. – Саратов: Сарат. гос. ун-т, 1985. - 140 с.
31. Исследование влияния параметров состояния СОЖ на физические и технологические показатели процесса шлифования / Е.М. Булыжев, В.Н. Агафонов, М.А. Белов и др. // Смазочно-охлаждающие технологические средства в процессах обработки заготовок резанием. – Ульяновск, 1996.- С. 39-43.
32. Гавриш А.П. Финишная алмазно-абразивная обработка материалов / А.П. Гавриш. – К.: Киев. ун-т, 1983. - 72 с.

33. Белов М.А. Повышение качества шлифованных деталей из коррозионно-стойких сталей путем рационального применения СОЖ: дис.... канд. техн. наук / М.А. Белов.- Куйбышев. – 1986. - 228 с.
34. Бабаев С.Г. Притирка и доводка поверхностей деталей машин / С.Г. Бабаев П.Г. Садыгов. – М.: Машиностроение, 1976. - 234 с.
35. Ромашкин В.Г. Исследование возможности повышения качества деталей на операциях шлифования путем тонкой очистки технологических жидкостей: дис.... канд. техн. наук / В.Г. Ромашкин.- Куйбышев, 1982. – 209 с.
36. Итинская Н. И. Справочник по топливу, маслам и техническим жидкостям / Н. И. Итинская, Н.А. Кузнецов. – М.: Колос, 1982. - 208 с.
37. Кисилев Е.С. Современные смазочно-охлаждающие жидкости для шлифования / Е.С. Кисилев и др. // Вестник машиностроения. – 1996. - №7. - С. 30-34.
38. Рыкунов Н.С. Совершенствование техники применения СОЖ при глубинном шлифовании / Н.С. Рыкунов, Д.И. Волков, В.В. Михрютин // Смазочно-охлаждающие жидкости в процессах абразивной обработки. - Ульяновск.- 1992. - С. 49-53.
39. Смазочно-охлаждающие технологические средства для обработки металлов резанием: справочник; под ред. С.Г. Энтелиса. - М.: Машиностроение, 1986. - 352с.
40. Справочник по применению и нормам расхода смазочных материалов / под ред. Е. А. Эминова.- 4-е изд., перераб и доп.- М.: Химия, 1977.- Кн.2.- 768 с.
41. Клушин М.И. Технологические свойства новых СОЖ для обработки резанием / М.И. Клушин. – М.: Машиностроение, 1979 - 192 с.
42. Степанов М. С. Наукові основи використання змащувально - охолоджувальних рідин для підвищення ефективності технологічних систем шліфування : автореф. дис.... д-ра техн. наук: 05.02.08 / М.С. Степанов; Харківський політехнічний інститут. – Харків, 2005. - 20 с.
43. Лапатко О.П. Исследования влияния механических примесей в рабочих жидкостях на надежность пластинчатых насосов: дис....канд. техн. наук / О.П. Лапатко. -М., 1972 -153 с.

44. Белов М.А. Влияние параметров состояния СОЖ на выходные показатели процесса шлифования / М.А. Белов, Е.М. Булыжев// Совершенствование процессов финишной обработки в машиностроении и приборостроении. Экология и защита окружающей среды. Мн., 1995.- С. 11-13.
45. Кисилев Е.С. Влияние условий шлифования на свойства поверхностного слоя заготовок из титановых сплавов / Е.С. Кисилев, Ж.К. Джавахия, А.Б. Маркелов //Станки и инструмент. – 1988. - № 5 - С.30-31.
46. Полянсков Ю.В. Системы очистки СОЖ от механически примесей / Ю.В. Полянсков, Е.М. Булыжев, Е.А. Карев // Технология производства, научная организация труда и управления. Машиностроение. М.: НИИМАШ, 1976.- Вып. 12. С.48- 55.
47. Чистота промышленная. Методы очистки смазочно-охлаждающей жидкости от механических примесей. Общие положения. : ГОСТ Р 52237-2004, М.: Издательство стандартов, 2004.- с.16.
48. Методы очистки СОЖ. – Л.: Машиностроение, 1986. -320 с.
49. Финкельштейн З.Л. Применение и очистка рабочих жидкостей для горных машин / З.Л. Финкельштейн. – М.: Недра, 1986. - 232 с.
50. Костюк В.И. Очистка СОЖ на машиностроительных предприятиях / В.И Костюк. – К.: Техника, 1990. - 436 с.
51. Биологическая очистка производственных сточных вод. Процессы, аппараты и сооружения / С. В. Яковлев, И. В. Скирдов, В. Н. Щецов и др. – М. : Стройиздат, 1985. □- 208 с.
52. Троцкий А.Р. Влияние механических примесей на стабильность эмульсионных СОЖ / А.Р. Троцкий, И.П. Игнатенко, М.А. Шутова // Смазочно-охлаждающие жидкости в процессе абразивной обработки.- Саратов. - 1983. - С.39-44.
53. Сандуляк А.В. Очистка жидкостей в магнитном поле / А.В. Сандуляк. - Львов: Вища школа,1984. - 167 с.
54. Классен В.И. Вода и магнит / В.И. Классен. – М.: Наука, 1973. - 111 с.
55. Мясников Н.Ф. Полиградиентные магнитные сепараторы / Н.Ф. Мясников, Г.Ф. Бехтле, А.Ф. Кальвасинский. – М.: Недра, 1978. - 145 с.

56. Воропанова А.А. Шведко А.С. Исследование процесса очистки отработанной СОЖ / А.А. Воропанова, А.С. Шведко // Химическая промышленность. - 1998.- №7. – С. 406 - 410.
57. Капустин Е.А., Кулаков А.М., Шарапов К.А., Просвирнин В.И. Исследование процесса осаждения пыли железного порошка под действием магнитного поля / Е.А. Капустин, А.М. Кулаков, К.А. Шарапов, В.И. Просвирнин // Очистка водного и воздушного бассейнов на предприятиях черной металлургии. - М., 1972. – Вып.1.- С. 105-107.
58. Карасик В.Р. Физика и техника сильных магнитных полей / В.Р. Карасик. – М.: Наука, 1964. - 315 с.
59. Коген - Даллин В.В. Расчет и испытания систем с постоянными магнитами / В.В. Коген – Даллин, Е.В.Комаров. – М.: Энергия, 1977. - 247 с.
60. До розрахунку електромагнітних фільтрів для очищення технічних рідин / В.І. Просвірнін, Є.П. Масюткін, В.Б. Гулевський, М.В. Красавчіков // Праці Таврійської державної агротехнічної академії. - Мелітополь, 2006. - Вип. 38.-С. 25 - 32.
61. Загирняк М.В. Устройства для магнитной очистки и регенерации смазывающе-охлаждающих жидкостей / М.В. Загирняк // Машиностроит. пр-во (ВНИИТЭМР). Техн. и обор. обр. мет. резанием: обзор. - М.: Машиностроение, 1991. -Вып. 7.- 20 с.
62. Пат. 24994 Україна, МПК⁷ B03C1/02. Електромагнітний фільтр - сепаратор / В.І. Просвірнін, І.О. Кузнецов, Ю.О. Богатирьов, В.Б. Гулевський (Україна). - № u 200701732; заявл. 19.02.2007; опубл. 25.07.2007, Бюл.№ 11. – 4 с.
63. А.с. 891120 СССР, МКИ³ B01D35/06. Магнитный фильтр для очистки жидкости / В.В.Кузьмин, В.Я. Прокопович (СССР). -№2927155/23-26; заявл. 06.08.79; опубл. 23.12.81, Бюл. № 47. - 3 с.
64. Гаврилов А. Магнитный фильтр / А. Гаврилов // Автомобильный транспорт. -1990.-№8.- С.
65. Кармазин В.В. Магнитная сепарация и регенерация при обогащении руд и углей / В.В. Кармазин, В.И. Кармазин, В.Д. Бинкевич. – М.: Недра, 1968. – 315 с.

66. Белянин П.Н. Центробежная очистка рабочих жидкостей авиационных гидросистем / П.Н. Белянин. – М.: Машиностроение, 1976. – 328 с.
67. Шестов Р.Н. Гидроциклоны / Р.Н.Шестов – Л.: Машиностроение, 1967. - 170 с.
68. Ильин И.И. Интенсификация и повышение качества очистки СОЖ / И.И. Ильин // Инструмент и технологии .- 1997.-№8-9.- С.36-38.
69. Глузман А.Л. Исследование эффективности магнитной и ультразвуковой активации СОЖ при алмазно-эльборовом шлифовании деталей из сталей и специальных сплавов: Дис. ... канд. техн. наук: 05.02.08 / УлПИ, Ульяновск. 1976. 229 с.
70. Шкоропад Д.Е. Центрифуги и сепараторы для химических производств / Д.Е. Шкоропад, О.П. Новиков. – М.: Химия, 1987.– 134 с.
71. Пат. 36140 Україна, МПК⁷ B03C1/02. Електромагнітний сепаратор / В.І. Просвірін, І.О. Кузнєцов, Ю.О. Богатирьов, В.Б. Гулевський (Україна). - № u 200807154; заявл. 23.05.2008; опубл. 10.10.2008, Бюл. № 19. - 4 с.
72. Григорьев М. А. Очистка масла в двигателях внутреннего сгорания / М.А. Григорьев, Г.В. Борисова. – М.: Машиностроение, 1990. - 234 с.
73. Большаков Г.Ф. Восстановление и контроль качества нефтепродуктов. / Г.Ф. Большаков. – Л.: Недра, 1974. - 320 с.
74. А.с. 362640 СССР, МКИ B03C1/10. Сепаратор ферромагнитных частиц / С.А. Левитан (СССР). -№1210676/22-3; заявл. 12.01.68; опубл. 20.12.72, Бюл. №3.- 2 с.
75. Зуев В.С. Магнитная сепарация жидких материалов сепараторами серии УМС / В.С. Зуев, В.И. Чарыков // Материалы Всероссийской научно - практической конференции. - Курган, 2000. - С. 11-15.
76. Ершов А.В. Исследование первичных вертикальных канализационных отстойников с нисходяще-восходящим движением жидкости: автореф. дис.... канд. техн. наук: 05.23.04 / А.В. Ершов; МИСИ – М., 1979. - 16 с.
77. Тараунех А. Х. Тонкошаровий відстійник – фільтр: автореф. дис.... канд. техн. наук: 05.23.04 / А. Х. Тараунех; ХДТУБА – Харків, 1999. - 12 с.
78. Кравченко Н. В. Тонкошарові відстійники з гвинтовими полицями: авто-

реф. дис.... канд. техн. наук: 05.23.04 / Н. В. Кравченко; Рівненський державний технічний університет. – Рівне, 2001. - 18 с.

79. А.с. 302136 СССР, МПК В03С 1/04. Устройство для магнитной очистки суспензий / И.Я. Юрчак, Ф.С. Энтелис, М.А. Нахамкин и др. (СССР). -№ 130787/22-3; заявл. 11.02.69; опубл. 28.04.71, Бюл. №15. - 2 с.

80. Сливинская А.Т. Электромагниты и постоянные магниты / А.Т Сливинская. – М.: Энергия, 1972. - 248 с.

81. Деркач В.Г. Специальные методы обогащения полезных ископаемых / В.Г. Деркач.– М.: Недра, 1966. – 375 с.

82. Полянсков Ю.В. Централизованная система очистки СОЖ / Ю.В. Полянсков, Е.М. Булыжев, К.Д. Мавромати // Машиностроитель. 1980.-№ 3. - С. 31-32.

83. Гіроль М.М. Інтенсифікація процесу відстоювання / М.М. Тіроль, Н.В. Кравченко // Сборник докладов Международного конгресса “ЭТЭВК-99”. – Ялта, 1999. – С. 151-153.

84. Ямкова М. А. Гідродинамічні основи методики розрахунку електромагнітних очисників: автореф. дис.... канд. техн. наук: 01.02.05 / М. А. Ямкова; Донбаський гірничо-металургійний інститут Міністерства освіти і науки України – К., 2000 . –20 с.

85. Бернацький М. В. Магнітно-реагентне очищення води в магнітних відстійниках сотової структури: автореф. дис.... канд. техн. наук: 05.23.04 / М. В. Бернацький; НУВГПВ – Рівне, 2006. – 21 с.

86. Новиков Ю.Н. Теория и расчет электрических аппаратов / Ю.Н. Новиков – Л.: Энергия, 1970. - 327 с.

87. Сипайлов В.А. Тепловые процессы при шлифовании и управление качеством поверхности / В.А. Сипайлов – М.: Машиностроение, 1978. - 168 с.

88. Устранение прижогов и трещин путем применения оптимального метода охлаждения при шлифовании / Д.Н. Троицкая, Н.В. Умнова, Е.С. Киселев и др. // Технология автомобилестроения.- 1981.- № 11. - С. 17-19.

89. Посвятенко Е.К. Відновлення колінчастих валів двигунів внутрішнього згоряння іонно-імпульсним азотуванням / Е.К. Посвятенко // Вісник Сумського

- державного університету: технічні науки. Машинобудування. – Суми, 2005. – № 11. – С.119-122.
90. Королев А. В. Теоретико-вероятностные основы абразивной обработки. Ч. 2. Взаимодействие инструмента и заготовки при абразивной обработке / А. В. Королев, Ю. К. Новоселов. – Саратов: Сарат. ун-т, 1989. – 191 с.
91. Семенов А. П. Схватывание металлов и методы его предотвращения при трении / А.П. Семенов // Трение и износ. – 1980. – Т. 1. – № 2. – С. 236-246.
92. Bhateja P. C. The dressability of abrasive grinding wheels / P.C. Bhateja // Machinability test and Util. Mach. Data Proc. Int. Conf. Dak. Brock. Il. 1978. Metals. Pork. Ohio. – 1979. – P. 325-337.
93. Friemuth Th. Electro-contact discharge dressing (ECDD) of diamond wheels / Th. Friemuth, T. Lierse // Ind Diamond Rev. – 1998. – 58. – № 577. – P. 57-61.
94. Шинский О.И. Технологический процесс получения литых заготовок коленвалов автомобилей КАМАЗ по газифицируемым моделям с кристаллизацией металла под давлением / О. И. Шинский, Н.И. Бех, И.О. Шинский // Металл и литье Украины.-1994.-№11-12.- С.16-19.
95. Лоскутов В.В. Шлифовальные станки / В.В. Лоскутов. – М.: Машиностроение 1988. - 327 с.
96. Роман О. В. Обработка металлов резанием и станки / О. В. Роман, А. А. Левенцов, И. Ф. Шелковский. – Мн.: 1970. - 327 с.
97. Чистота промышленная. Классы чистоты жидкостей: ГОСТ 17216-2001.- Мн: Межгосударственный совет по стандартизации, метрологии и сертификации, 2001.- 8 с.
98. Cole P.W. Particle count rationalization / P.W. Cole // Paper presented of American Contaminant control Meeting.- St. Louis, 1966.- 21 p.
99. Абрамов. Справочник по обработке металлов резанием / Ф.Н. Абрамов. и др. – К.: Техника, 1983. - 345 с.
100. Худобин Л.В. Влияние твердых примесей, содержащихся в СОЖ на качество шлифуемых деталей / Л.В. Худобин, Е.П. Гульнов // Вестник машиностроения. – 1976. - №9. - С. 70-73.

101. Худобин Л.В., Влияние загрязнения СОЖ на качество поверхностного слоя шлифованных деталей / Л.В. Худобин, М.С. Степанов // Вестник машиностроения. – 1990. - №4. - С. 51-54.
102. К методике исследования эффективности очистки СОЖ от механических примесей при абразивной обработке / Ю.В. Полянсков, Е.А. Карев, Е.М. Булыжев и др. // Труды Ульяновского политехнического института. Машиностроение. –Куйбышев, 1976.-Т. X. Вып. 1. -С.46-54.
103. Степанов М.С. Обеспечение качества поверхности и поверхностного слоя шлифованных деталей средствами тонкой очистки смазочно-охлаждающих технологических жидкостей от механических примесей: дис.... канд. техн. наук / М.С. Степанов.- Ульяновск. - 1988. - 292 с.
104. Степанов М.С. Управление параметрами точности продольного шлифования воздействием СОЖ на шлифовальный круг / М.С. Степанов // Вісник ХДТУСГ. "Технічний сервіс АПК, техніка та технології у сільськогосподарському машинобудуванні": ХДТУСГ. – Харків, 2004. - Вип. 26.- С. 110-114.
105. Худобин Л.В. Нормы чистоты СОЖ для шлифовальных операций / Л.В. Худобин, Е.П. Гульнов // Машиностроитель. - 1978. - №10. - С.19-21.
106. Прибор контроля чистоты жидкости ПКЖ-904В: паспорт.- М.: 1982.-7 с.
107. Пат. 20684 Україна, МПК⁷ G01B7/00. Пристрій визначення габаритних розмірів і форм феромагнітних тіл / Є.П. Масюткін, В.Б. Гулевський, В.І. Просвірнін, Д.Є. Масюткін (Україна). - № u200606829; заявл. 19.06.2006; опубл. 15.02.2007, Бюл.№ 2. - 3 с.
108. Промышленная чистота. Жидкости смазочно-охлаждающие. Требования к чистоте смазочно-охлаждающих жидкостей на операциях круглого наружного и плоского шлифования периферией круга: ГОСТ Р 50815-95 - М.: Издательство стандартов, 1995.- 12 с.
109. Промышленная чистота. Жидкости смазочно-охлаждающие. Общие технические требования: ГОСТ Р 50558-93.- М.: Издательство стандартов, 1993.- 16 с.

110. Дитиненко С. О. Підвищення ефективності технології фінішної обробки циліндричних поверхонь твердосплавних виробів: автореф. дис....канд. техн. наук: 05.02.08 / С. О. Дитиненко; НТУ "ХП" - Харків: 2005. - 26 с.
111. Henze M. Wastewater Treatment / M. Henze, P. Harremoes , C. Jansen, E. Arwin // Springer. – Berlin, New York , 2002 – P. 430.
112. Справочник по гидравлическим расчетам /Под ред. П.Г. Киселева. - М.: Энергия, 1974. - 392 с.
113. Watson J H. P. Particle retention in high-intensity magnetic separation / J.H.P. Watson // Deposition and filtration of particles from gases and liquids (Symp. Loughbor. Univ., 6—8.09. 1978).- 1978.- p. 43-60.
114. Бондаренко Г.И. Расчет эффективности магнитного фильтра с шаровым наполнением / Г.И. Бондаренко, В.Г. Мадьяров // Изв. вузов. Энергетика.-1977.- № 4.- С.13-18.
115. Чертков Я.Б. Загрязнения и методы очистки нефтяных топлив / Я.Б. Чертков, К.В. Рыбаков, В.Н. Зрелов. – М.: Химия, 1970. - 60 с.
116. Богомолов А.И. Гидравлика / А.И. Богомолов, К.А Михайлов. – М.: Стройиздат, 1972 - 152 с.
117. Фукс Н.А. Механика аэрозолей / Н.А. Фукс. – М.: АН СССР, 1955. - 352 с.
118. Фукс Н.А. Успехи механики аэрозолей / Н.А. Фукс. – М.: АН СССР, 1961. -159 с.
119. Кармазин В.И. Современные методы обогащения руд черных металлов / В.И. Кармазин – М.: Гостехиздат, 1962. - 659 с.
120. Фейман Р. Феймановские лекции по физике / Р. Фейман, Р. Лейтон., М. Сэндс – М.: Мир, 1977. - 304 с.
121. Парсел Э. Электричество и магнетизм / Э. Парсел ; пер. с англ. – М.: Наука, 1971.- 448 с.
122. Поливанов К.М. Теоретические основы электротехники / К.М.. Поливанов – М.: Энергия, 1975. –Т.3. - 203 с.
123. Фаузі Мансур Махмуд Аль-Зурейка. Підвищення ефективності застосування шківних електромагнітних сепараторів: автореф. дис.... канд. техн. наук:

- 05.09.01 / Фаузі Мансур Махмуд Аль-Зурейка(Йорданія); Східноукраїнськ. нац. університет імені Володимира Даля. – Луганськ., 2003. - 22 с.
124. Васильев П.Н. Исследование процесса магнитной сепарации зернопродуктов и создание электромагнитных сепараторов для зерноперерабатывающих предприятий: автореф. дис....канд. техн. наук: 05.02.14 / П.Н. Васильев; Московский ордена Трудового Красного Знамени технологический институт пищевой промышленности – М., 1974. - 15 с.
125. Елфимов С. А. Разработка новых методов магнитной сепарации сыпучих материалов: дис. канд. техн. наук: 01.04.01 / С. А Елфимов; Сибирский государственный технологический университет – Красноярск, 2004. - 103 с.
126. Чарыков В. И. Электромагнитные системы очистки сухих и жидких сельскохозяйственных продуктов от металлических примесей: дис.... докт. техн. наук: 05.20.02 / В. И. Чарыков; Сибирский государственный технологический университет – Челябинск –2005. - 300 с.
127. Никитенко А.Т. Аналитический обзор методов расчета магнитных полей электрических аппаратов / А.Т. Никитенко, Ю.А. Бахвалов, В.Т. Щербаков // Электричество. – 1997.-№ 1.-С. 121-124.
128. Папин Б.Д. Разработка метода математического моделирования для решения задач оптимальной очистки зерна сепараторами технологических линий: автореф. дис.... докт. техн. наук / Б.Д. Папин. - Челябинск, 1994. - 39 с.
129. Тозони О.В. Математические модели для расчета электрических и магнитных полей / О.В. Тозони – К.: Наукова Думка, 1964. - 264 с.
130. Маслов В.Е. Физическое и математическое моделирование движения пылевых частиц в криволинейном потоке / В.Е. Маслов и др. // 5-я межвузовская конференция по физическому и математическому моделированию, секция теплоэнергетики. - М., 1968. - С. 42-47.
131. Ландау Л.Р. Теория поля / Л.Р. Ландау, Е.М. Лифшиц. – М.: Физматгиз, 1960. - 446 с.
132. Шарапов К.А. Динамика поведения ферромагнитных частиц в магнитных полях / К.А. Шарапов, В.И. Просвирнин, Ю.А. Измоденов // Восьмая межвузов-

ская конференция по вопросам испарения, горения и газовой динамики дисперсных систем. – Одесса, 1968. - С.24-25.

133. Ломовцев Л.А. Влияние магнитной флокуляции на процесс магнитной сепарации / Л.А. Ломовцев, Л.С. Шуголь // Горный журнал. - 1967. -№8.-С. 112-116.

134. Кармазин. Некоторые закономерности магнитной флокуляции тонкодисперсных, сильномагнитных материалов / В.В. Кармазин // Электрические и магнитные методы сепарации.- М., 1965. - С. 79-95.

135. Жежеленко И.В. Взаимодействие намагниченных частиц и прочность флокуляции / И.В. Жежеленко // Горный журнал. - 1974.-№7.- С. 132-134.

136. Просвирнин В.И. Математическая модель коагуляции частиц в магнитном поле / В.И. Просвирнин, Е.П. Масюткин, М.А. Разоренова // Праці Таврійської державної агротехнічної академії. - Мелітополь, 2004. – Вип.24.- С. 31- 39.

137. Ребиндер П.А. Влияние активных смазочно-охлаждающих жидкостей на качество поверхности при обработке металлов / П.А. Ребиндер. – М.: Машиностроение, 1990. - 120 с.

138. Правиков Ю.М. Нормирование отклонений формы, расположения и шероховатости поверхностей деталей машин: учебное пособие / Ю.М. Правиков, Г.Р. Муслина. - 2-е изд., перераб. и доп. -Ульяновск: УЛГТУ, 2002. - 100 с.

139. Ганзбург Л.Б. Проектирование электромагнитных и магнитных механизмов: справочник. / Л. Б. Ганзбург, А.И. Федотов. – Л.: Машиностроение, 1980, – 364 с.

140. Браун Э. Д. Моделирование трения и изнашивания в машинах / Э. Д. Браун, Ю. А. Евдокимов, А. В. Чичинадзе.- М.: Машиностроение, 1982. - 191 с.

141. Иродов И.Е. Основные законы электромагнетизма / И.Е. Иродов. – М.: Высшая школа, 1983. - 279 с.

142. Константинов О.Я. Расчет и конструирование магнитных и электромагнитных приспособлений / О.Я. Константинов – Л.: Машиностроение, 1967. - 314 с.

143. Лысов Н.Е. Расчет электромагнитных механизмов / Н.Е. Лысов – М.: Оборонгиз, 1949. - 111 с.

144. Любчик М.А. Оптимальное проектирование силовых электромагнитных механизмов / М.А. Любчик. – М.: Энергия, 1974. - 392 с.

145. Любчик М.А. Расчет и проектирование электромагнитов постоянного и переменного тока / М.А. Любчик. – М.: Государственное энергетическое изд., 1959. - 290 с.
146. Семенюк А.В. Конфигурация магнитных полей в новых сепараторах / А.В. Семенюк // Межвузовская научно – практическая конференция студентов, аспирантов и молодых ученых. - КГАЦМИЗ.- Красноярск, 1999. – С. 34-36.
147. Казаков Л.В. Оптимальные соотношения размеров магнитопровода электромагнитов постоянного тока / Л.В. Казаков, В.Ю. Кончаловский // Электричество.-1964.-№ 10.-С. 43- 46.
148. Касаткин А.С. Электротехника / А.С. Касаткин. – М.: Энергия, 1974. – 560 с.
149. Круг К.А. Основы электротехники / К.А. Круг. – Л.: Госэнергоиздат, 1946. – 472 с.
150. Поливанов К.М. Ферромагнетики / К.М. Поливанов – Л.: Госэнергоиздат, 1957. - 256 с.
151. Никольский В.В. Теория электромагнитного поля / В.В. Никольский – М.: Высшая школа, 1961. - 362 с.
152. Яцкевич В.В. Электротехника: учеб. пособие для с.-х. вузов по спец. “Механизация сельского хоз-ва” / В.В. Яцкевич. -2-е изд., перераб. и доп.- Мн.: Ураджай, 1981. - 183 с.
153. Сочнев А.Я. Теоретическое определение напряженности магнитного поля, создаваемого многополюсной электромагнитной системой / А.Я. Сочнев //Журн. технич. физ.- 1936. – Т. 6. – Вып. 3. - С. 14-16.
154. Озерецкий И.Н. Весы для измерения магнитной восприимчивости слабомагнитных веществ / И.Н. Озерецкий // Физическая химия. - 1973. - Вып. 5. - Т. 47. - С. 1324-1326.
155. Максвелл Д.К. Избранные сочинения по теории электромагнитного поля / Д.К. Максвелл. – М.: Гостехиздат, 1954. - 512 с.
156. Маслов Е. Н., Теория шлифования материалов / Е. Н Маслов. – М.: Машгиз, 1974. - 512 с.
157. Худобин Л.В., Булыжев Е.М. Влияние магнитного поля на взаимодействие

частиц шлифовальных шламов, содержащихся в СОЖ // Теория трения смазки и обрабатываемости металлов. Чебоксары: Изд-во Чувашского госуд. ун-та, 1978. Вып. 5. С. 14-21.

158. Вульф А. М. Резание металлов / А. М. Вульф. – 2 изд. - Л.: 1973 – 112 с.
159. Пат. 20162 Україна, МПК⁶ B01D 21/02. Відстійник. / М.М. Гіроль, Н.В. Кравченко (Україна). – № 96124573; заявл. 06.12.96; опубл. 15.11.00, Бюл. № 6. - 4 с.
160. Тараунех А.Х. Экспериментальные исследования работы тонкослойного отстойника-фильтра / А.Х. Тараунех // Науковий вісник будівництва. - Харків, ХДТУБА-ХОТВ, 1998. - Вип.3. С. 160-162.
161. Пат. 2030925 Российская Федерация, МПК⁶ B03C1/02. Магнитный аппарат / П.П. Андрейчев, С.П. Андрейчев, Ф.А. Лазовский (Россия). - № 5049974/03; заявл. 1992.06.29; опубл. 1995.03.20. - 4 с.
162. Пат. 2106203 Российская Федерация, МПК⁶ B03C1/02. Магнитный гидросепаратор / В.А. Чумаков, В.П. Мартыненко, В.Ф. Бадагов и др. (Украина). - № 97106321/03; заявл. 1997.04.25; опубл. 1998.03.10. - 5 с.
163. Пат. 2859 Україна, МПК³ B01D35/06. Електромагнітний сепаратор для безперервної очистки рідини / О.Ю. Корхов, О. В. Сандуляк, В.І. Гаращенко (Україна). - № 3336604; заявл. 09.09.81; опубл. 26.12.94, Бюл. № 32. - 5 с.
164. Пат. 2203124 Российская Федерация, МПК⁶ B03C1/00 Высокоградиентный магнитный фильтр / Б.А.Гусев, Л.Л. Чилипенко, Е.П. Козлов, С.М. Ковалев, С.Н. Харахнин, В.Н.Тищенко(Россия). - № 5049974/03; заявл. 2002.01.31; опубл. 2003.04.27, Бюл. № 12. - 5 с.
165. А.с. 1033199 СССР, МКИ³ B03C1/14. Устройство для электромагнитной очистки жидкости / В.М. Степанов (СССР). -№3376970/23-26; заявл. 29.12.81; опубл. 07.08.83, Бюл. №29. - 5 с.
166. А.с. 1021476 СССР, МПК⁴ B03C 1/02. Электромагнитный сепаратор / Н.Ф. Егоров, Ю.А. Азбель, Г.Н. Воликов, Т.Н. Галевская, В.Г. Гашев (СССР). - № 3372618/22-03; Заявлено 28.08.1981; Опубл. 22.04.1983; Бюл. № 21. - 3 с.
167. А.с. 1033206 СССР, МПК⁴ B03C 1/02. Электромагнитный сепаратор / Л.Г.

- Притуляк, Н.В. Федоренко (СССР). - № 3272581/22-03; Заявлено 09.04.1983; Оpubл. 07.08.1983, Бюл. № 29. - 3 с.
168. А.с. 1153996 СССР МКИ³ В04С 9/00. Установка для очистки жидкостей / Д.В. Пашков, М.С. Степанов (СССР) - №3656822/23-26; Заявлено 28.10.83; опубл. 07.05.85, Бюл.№17. - 4 с.
169. А.с. 1044334 СССР, МКИ⁴ В03С 1/24. Способ магнитной сепарации / Ю.И. Тамбовцев (СССР). - № 3292987/22-03; заявл. 20.02.81; опубл. 30.09.83; Бюл. № 36. - 3 с.
170. А. с. 1637833 СССР, МКИ С01D35/06. Способ очистки жидкости / А.В. Сандуляк, А.П. Вежанский, И.Б. Лозин и др. (СССР). - № 4602135/26; заявл. 05.11.88; опубл. 30.03.91, Бюл. №12.- 4 с.
171. А.с. 1528737 СССР, МКИ С02F1/48. Устройство для электромагнитной коагуляции жидкости / С.С. Душкин, Е.М. Омельченко, В.И. Беляев (СССР). - № 4385840/31-26; заявл. 29.02.88; опубл. 15.12.89, Бюл. 46.- 5 с.
172. Чистота промышленная. Методы испытаний смазочно-охлаждающих жидкостей: ГОСТ Р 52338-2005. – М.: Стандартиформ, 2005.- 8 с.
173. Петрук В.Г. Основи науково - дослідної роботи: навчальний посібник / В.Г. Петрук, Є.Т. Володарський, В.Б.Мокін. – Вінниця: УНІВЕРСУМ -Вінниця, 2005. –144 с.
174. Адлер Ю.П. Планирование эксперимента при поиске оптимальных решений / Ю.П. Адлер, Е.В. Маркова, Ю.В. Грановский. – М.: Наука, 1971.– 282 с.
175. Опря А.Т. Математическая статистика / А.Т. Опря. - К.: Урожай, 1994. - 193 с.
176. Методика (основные положения) определения экономической эффективности использования в народном хозяйстве новой техники, изобретений и рационализаторских предложений: утв. ГКНТ, Госпланом СССР, Академией наук СССР и Госкомизобретений 14 февраля 1977г. № 48/16//13/3. - М., 1977. -53 с.
177. Методика определения экономической эффективности использования в народном хозяйстве новой техники изобретений и рационализаторских предложений. - М.: ВНИИСХ, 1986. - 32 с.

178. Гулевский В.Б. Энергосберегающая система извлечения магнитных частиц из СОЖ при ремонте транспортной техники / В.Б. Гулевский, Ф.А. Овчаренко //Збірник наукових праць VIII міжнародної науково-технічної конференції аспірантів та студентів. – Донецьк: ДонНТУ, 2008.- С.113-116.
179. Пат. 4908 Україна, МПК⁷ H02H3/24. Пристрій захисту струмоприймачів від неповнофазного режиму роботи / В.І. Просвірнін, В.Б. Гулевський, І.О. Кузнєцов (Україна). - № 20040503874; заявл. 24.05.2004; опубл. 15.02.2005, Бюл.№ 2. - 3 с.