

АННОТАЦИЯ

диссертации на соискание степени доктора философии PhD по направлению подготовки: 8D071 – «Инженерия и инженерное дело», образовательной программе: 8D07101 – «Машиностроение»

КИМ АННА СТАНИСЛАВОВНА

РАЗРАБОТКА МЕТОДА УЛЬТРАЗВУКОВОЙ РЕГЕНЕРАЦИИ СМАЗОЧНО-ОХЛАЖДАЮЩЕЙ ЖИДКОСТИ ДЛЯ ЕЕ ПОВТОРНОГО ИСПОЛЬЗОВАНИЯ

Актуальность диссертационной работы. Диссертация выполнена в соответствии с приоритетным направлением развития науки «Энергия, передовые материалы и транспорт», подприоритетом «Машиностроение и транспорт», утверждённым Высшей научно-технической комиссией при Правительстве Республики Казахстан, на соискание степени доктора философии (PhD) по направлению подготовки 8D071 – «Инженерия и инженерное дело», по образовательной программе 8D07101 – «Машиностроение».

Связь диссертационного исследования с государственными научно-техническими программами подтверждает его практическую направленность и прикладную значимость. Тематика диссертационной работы положена в основу грантового финансирования исследований молодых ученых по проекту «Жас ғалым» на 2025–2027 гг. (AP25794035) «Разработка и исследование метода очистки смазочно-охлаждающей жидкости ультразвуком для ее повторного использования», что свидетельствует о востребованности полученных научных результатов.

В машиностроении при обработке металлов резанием применяются смазочно-охлаждающие жидкости (СОЖ). Целью использования СОЖ является уменьшение силы трения между заготовкой и режущим инструментом, снижая деформацию заготовки в процессе обработки и увеличивая период стойкости металлорежущего инструмента, увеличивая производительность при металлообработке.

Срок службы рабочих растворов СОЖ обычно составляет от 2 недель до 3–6 месяцев, после чего, если растворы не подвергаются требуемой регенерации, они выбраковываются и направляются на дорогие технологии обезвреживания и утилизации. В условиях неблагоприятной экологической обстановки, утилизация СОЖ является экологической проблемой современного машиностроения. При этом в технологический процесс вовлекаются новые порции концентрата СОЖ и значительный объем пресной воды, и процесс повторяется.

Смывание масел с направляющих салазок станков (при подаче СОЖ в зону резания) превращает практически все виды используемых СОЖ в опасные техногенные маслосодержащие отходы.

Инородные масла и нефтепродукты, попадающие в СОЖ, являются

хорошей питательной средой для различных бактерий и микроорганизмов, способствуют ее быстрому биопоражению и загниванию. Загрязнённая СОЖ оказывает значительный вред для здоровья рабочих.

Существует несколько способов очистки СОЖ – флотацией, фильтрованием, очистка в силовых полях. При выборе метода очистки опираются на показатели эффективности регенерации: плотность примесей, производительность, степень и тонкость очистки, коэффициенты сепарации, средний размер частиц примесей, биостойкость клеток, потребляемая мощность и экономические показатели на выходе. Все перечисленные способы регенерации имеют ряд недостатков, таких как низкая производительность и степень очистки СОЖ, трудоемкость и сложность конструкций. Необходима разработка нового метода, лишённого этих недостатков. Однако отсутствуют зависимости, описывающие процесс очистки и результаты экспериментов по регенерации СОЖ. В связи с этим доказательство эффективности очистки СОЖ ультразвуковым излучением, получение основных характеристик и параметров процесса для его практической реализации является актуальным.

Гипотезой исследования является предположение о том, что оптимально подобранные параметры ультразвукового воздействия способны обеспечить эффективную регенерацию смазочно-охлаждающей жидкости за счёт протекания в ней процессов кавитации, коагуляции и диспергирования.

Целью исследования является разработка метода очистки СОЖ ультразвуком и установление зависимостей, описывающих этот процесс.

Для достижения цели исследования необходимо решение **следующих задач:**

- аналитический обзор состава СОЖ и их использование;
- критический анализ существующих методов очистки СОЖ, патентов и изобретений в этой отрасли;
- разработка способа работы, конструкции и проведение экспериментальных исследований функционирования датчика по определению степени загрязнения СОЖ;
- экспериментальные исследования по очистке СОЖ ультразвуковым воздействием;
- математическое моделирование процесса регенерации СОЖ ультразвуком и описание физики процесса;
- экспериментальное установление зависимости степени очистки от объема и материала емкости, в которой производится очистка;
- экспериментальное подтверждение эффективности очистки ультразвуком;
- реализация результатов исследований в промышленную практику;
- разработка рекомендаций по внедрению в промышленную практику с учетом контроля качества, охраны труда и экологических требований, условий работы и оборудования;
- экономическая эффективность регенерации СОЖ ультразвуком.

В процессе исследования использовались следующие **методы**

исследования:

- аналитический обзор результатов исследования;
- патентный анализ;
- математическое моделирование;
- планирование эксперимента и обработка результатов эксперимента.

Научная новизна исследования заключается в следующем:

- впервые доказана эффективность и обоснована необходимость метода очистки СОЖ ультразвуковым воздействием;
- описана физическая картина процесса воздействия ультразвуковых волн на вязко-пластическую среду СОЖ;
- получены зависимости, связывающие электрическую проводимость СОЖ со степенью ее загрязнения;
- получены экспериментальные зависимости степени очистки СОЖ от частоты, мощности, времени воздействия, объема жидкости и материала емкости;
- установлены эффективные режимы УЗ обработки СОЖ в зависимости от качества очистки.

Научные положения, выносимые на защиту:

1. Физическая картина регенерации СОЖ под действием ультразвуковых волн за счет кавитации и коагуляции.
2. Эффективность регенерации прямо пропорциональна мощности ультразвука и времени воздействия и обратно пропорциональна объему емкости жидкости.
3. Разработан датчик, позволяющий определять степень загрязнения СОЖ по ее электрическому сопротивлению.
4. Зависимости, определяющие степень очистки СОЖ от материала и объёма емкости, параметров ультразвука, времени воздействия.
5. Рекомендации по возможности использования результатов регенерации смазочно-охлаждающих жидкостей при разработке технологических процессов для условий промышленного производства.

Автор защищает:

- способ очистки СОЖ ультразвуковым воздействием;
- описание физического процесса воздействия ультразвука на вязко-пластическую среду СОЖ;
- результаты экспериментальных исследований по определению степени чистоты СОЖ датчиком с использованием электрического сопротивления;
- результаты экспериментальных исследований по очистке СОЖ ультразвуком.

Объектом исследования является процесс очистки ультразвуком смазочно-охлаждающей жидкости.

Предметом исследования является ультразвуковое воздействие на смазочно-охлаждающую жидкость.

Практическая значимость заключается в разработке рекомендаций и получение расчетных зависимостей для проектирования технологического процесса очистки СОЖ ультразвуком.

Также основные результаты диссертации внедрены в производство ТОО «Maker (Мэйкер)» и в учебный процесс дисциплины «Теория резания» для обучающихся бакалавриата 2 курса образовательной программы 6B07104 «Машиностроение» НАО «Карагандинский технический университет имени Абылкаса Сагинова».

Достоверность выводов диссертации обеспечивается корректной постановкой задач, применением адекватных методов и согласованием результатов экспериментов с аналитическими данными. Основные положения диссертации были опубликованы в научных статьях и тезисах докладов, а также имеется патент на полезную модель и свидетельство о государственной регистрации прав на объекты авторского права.

Краткое содержание.

В первой главе выполнен анализ современного состояния проблемы очистки и регенерации смазочно-охлаждающих жидкостей, применяемых в машиностроении при обработке металлов резанием. Рассмотрены причины деградации СОЖ в процессе эксплуатации. Проведён обзор и сравнительный анализ существующих методов очистки СОЖ.

Во второй главе рассмотрены вопросы контроля и мониторинга состояния смазочно-охлаждающих жидкостей. Проанализированы традиционные методы оценки качества СОЖ. Разработан датчик и экспериментально апробирована методика оценки степени загрязнения СОЖ на основе измерения электрического сопротивления с использованием двухэлектродной системы и цифрового мультиметра. Экспериментально установлена зависимость электрического сопротивления СОЖ от концентрации металлических загрязнений.

Третья глава посвящена разработке и теоретическому обоснованию метода ультразвуковой регенерации смазочно-охлаждающих жидкостей. Рассмотрена физическая сущность воздействия ультразвуковых волн на вязко-пластическую среду СОЖ, включая процессы кавитации, коагуляции, диспергирования и сепарации загрязняющих примесей. Приведено описание механизмов передачи энергии ультразвука в жидкую среду и их влияния на режимы течения раствора. Показано, что эффективность процесса очистки определяется соотношением передаваемой энергии, объёма жидкости и условий ультразвукового воздействия.

Разработана экспериментальная установка для ультразвуковой очистки СОЖ, проведены эксперименты при различных значениях частоты, мощности, времени воздействия, объёма жидкости и материала ёмкости. Получены экспериментальные зависимости, характеризующие степень очистки СОЖ в указанных условиях.

В четвёртой главе разработаны рекомендации по внедрению результатов экспериментальных исследований в производство, разработана необходимая документация. Проведена оценка экономической эффективности внедрения ультразвуковой установки для очистки СОЖ в условиях машиностроительного предприятия. Рассчитан годовой экономический эффект за счёт снижения затрат на приобретение свежей СОЖ, утилизацию

отработанных жидкостей и эксплуатационные расходы. Показано, что применение разработанного метода обеспечивает существенный экономический эффект при эксплуатации парка металлорежущих станков.

Личный вклад диссертанта

Работа выполнена автором лично, автор выполнил анализ существующих методов очистки, провел патентный обзор. Поставлена задача и разработана методика исследования. Разработана методика мониторинга степень загрязнения СОЖ на основе измерения электрического сопротивления, проведены эксперименты, разработан датчик. Проведены экспериментальные исследования по разработке способа регенерации смазочно-охлаждающей жидкости ультразвуком, разработана экспериментальная установка для ультразвуковой очистки.

Публикация и апробация работы. Основные положения диссертации опубликованы в 11 научных трудах на русском и английском языках. В 2-х статьях, входящих в базу данных Scopus (Journal of Measurements in Engineering – 28%, Applied Mechanics – 61%), в 3 статьях, рекомендованных Комитетом по обеспечению качества в сфере науки и высшего образования Министерства науки и высшего образования Республики Казахстан, в одном патенте на полезную модель РК, в одном свидетельстве о государственной регистрации прав на объекты авторского права и в 4-ти тезисах на международных научно-практических конференциях.

Были представлены и обсуждены основные результаты диссертации на:

- международной научно-практической конференции «XV Сагиновские чтения. Интеграция образования, науки и производства», г. Караганда, 2023г.;

- международной научно-практической конференции «XVI Сагиновские чтения. Интеграция образования, науки и производства», г. Караганда, 2024г.;

- международная научно-практическая конференция «Развитие машиностроительной отрасли и подготовка высококвалифицированных кадров новой формации» (состояние, проблемы и пути их решения), г. Астана, 2005г.;

- на научных семинарах кафедры «Технологическое оборудование, машиностроение и стандартизация» (2021-2026);

- на научных семинарах Диссертационного совета (2024-2026) по защите докторских диссертаций по специальностям 8D07101 «Машиностроение», 8D07102 «Транспорт, транспортная техника и технология» Карагандинского технического университета имени Абылкаса Сагинова;

Структура и объём диссертации. Структура и объём диссертации. Диссертационная работа изложена на 125 страницах машинописного текста, состоит из обозначений и сокращений, введения, 4 разделов и заключения, включает в себя 38 рисунков, 6 таблиц, список использованных источников и приложений.

Диссертационная работа содержит новые научно обоснованные

теоретические и экспериментальные результаты, совокупность которых направлена на решение актуальной научно-практической задачи машиностроения — разработки метода ультразвуковой регенерации смазочно-охлаждающих жидкостей для их повторного использования в процессах механической обработки металлов.

В результате выполненных исследований решена важная научно-практическая задача прикладного характера, что позволяет сделать следующие выводы.

1. На основе аналитического обзора состава, условий эксплуатации и функций смазочно-охлаждающих жидкостей, а также критического анализа существующих методов их очистки установлено, что традиционные способы регенерации (флотация, фильтрование, очистка в силовых полях и др.) обладают ограниченной эффективностью, высокой энергоёмкостью и конструктивной сложностью и не обеспечивают комплексного удаления загрязнений при длительной эксплуатации СОЖ.

2. Анализ патентов и технических решений в области очистки смазочно-охлаждающих жидкостей показал, что современные разработки преимущественно ориентированы на многостадийные и комбинированные схемы регенерации с использованием механических, химических и магнитных воздействий. При этом выявлено отсутствие методов, основанных на целенаправленном использовании ультразвукового воздействия в качестве самостоятельного и основного способа регенерации СОЖ.

3. Проведённый анализ существующих методов контроля состояния СОЖ показал, что применяемые визуальные, лабораторные и инструментальные способы не обеспечивают универсального и оперативного мониторинга степени загрязнения в условиях производства. В связи с этим обоснована целесообразность разработки простого и доступного экспресс-метода контроля качества СОЖ, адаптированного к реальным условиям эксплуатации.

4. Разработан датчик для непрямого контроля степени загрязнения смазочно-охлаждающей жидкости, основанный на измерении электрического сопротивления, и экспериментально подтверждена возможность использования данного параметра для оценки состояния СОЖ в процессе эксплуатации.

5. Экспериментально установлены зависимости электрического сопротивления смазочно-охлаждающей жидкости от степени её загрязнения, подтверждающие применимость предложенного метода для оперативного контроля качества СОЖ и принятия решений о необходимости её регенерации.

6. Разработан метод ультразвуковой регенерации смазочно-охлаждающей жидкости и создана экспериментальная установка для его реализации. Установлено, что ультразвуковое воздействие обеспечивает эффективную очистку СОЖ за счёт совокупного проявления процессов кавитации, коагуляции и диспергирования загрязняющих частиц.

7. Получены экспериментальные зависимости степени очистки

смазочно-охлаждающей жидкости от частоты, мощности и времени ультразвукового воздействия, а также от объёма жидкости и материала ёмкости, что позволило установить оптимальные режимы ультразвуковой обработки, обеспечивающие максимальную эффективность очистки при рациональных энергетических затратах.

8. Разработана математическая модель процесса ультразвуковой регенерации смазочно-охлаждающей жидкости, описывающая физические механизмы очистки вязко-пластической среды под действием ультразвуковых колебаний и позволяющая прогнозировать эффективность процесса при изменении режимных параметров.

9. Экспериментально подтверждена возможность повторного использования регенерированной смазочно-охлаждающей жидкости в технологических процессах механической обработки, что свидетельствует о целесообразности внедрения разработанного метода в промышленную практику.

10. Разработаны рекомендации по внедрению метода ультразвуковой регенерации смазочно-охлаждающих жидкостей в производственных условиях с учётом требований контроля качества, охраны труда, промышленной безопасности и экологических нормативов.

11. Практическая значимость результатов исследования подтверждена их внедрением в производственный процесс ТОО «Maker (Мэйкер)», а также использованием в учебном процессе НАО «Карагандинский технический университет имени Абылкаса Сагинова» при подготовке специалистов по направлению «Машиностроение».

Таким образом, все задачи, поставленные в диссертационной работе, решены, цель исследования достигнута, а полученные результаты обладают научной новизной и практической значимостью.