

На правах рукописи

КРАСНОВА МАРИНА ЕВГЕНЬЕВНА

**РАЗРАБОТКА И ИССЛЕДОВАНИЕ ТЕХНОЛОГИЧЕСКОЙ
ЭФФЕКТИВНОСТИ ТОНКОСЛОЙНЫХ ГРАВИТАЦИОННЫХ
ОЧИСТИТЕЛЕЙ ВОДНЫХ СЖ
НА ШЛИФОВАЛЬНЫХ ОПЕРАЦИЯХ**

Специальность 05.03.01 – Технологии и оборудование
механической и физико-технической обработки

АВТОРЕФЕРАТ
диссертации на соискание ученой степени
кандидата технических наук

Ульяновск 2009

Работа выполнена на кафедре «Технология машиностроения»
Ульяновского государственного технического университета (УлГТУ)

Научный руководитель: – доктор технических наук, доцент
Булыжев Евгений Михайлович

Официальные оппоненты: – доктор технических наук, доцент
Хусаинов Альберт Шамильевич;
кандидат технических наук, доцент
Гисметуллин Альберт Растемович

Ведущее предприятие: – ЗАО «Кардан»
Самарская обл., г. Сызрань

Защита состоится «30 » сентября 2009 г. в 14.30 на заседании диссертационного совета ДМ 212.277.03 в первом корпусе Ульяновского государственного технического университета по адресу: г. Ульяновск, ул. Энгельса, 3 (почтовый адрес: 432700, ГСП, г. Ульяновск, ул. Северный Венец, 32).

С диссертацией можно ознакомиться в библиотеке Ульяновского государственного технического университета.

Автореферат разослан « » _____ 2009 г.

Ученый секретарь диссертационного совета
доктор технических наук, доцент

Н.И. Веткасов

1. ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

Актуальность темы. Современный технический уровень продукции машиностроения обуславливает необходимость соответствующего повышения качества деталей, которое в большинстве случаев наиболее экономично обеспечивается абразивной обработкой с применением СОЖ. Общеизвестна необходимость очистки СОЖ от механических примесей, так как это позволяет значительно увеличить скорость резания, повысить производительность и качество обработки. Однако существующие очистители далеко не всегда могут эффективно очищать СОЖ от неферромагнитной составляющей механических примесей – абразива, материала связки и немагнитной металлической стружки.

Для очистки СОЖ от механических, в том числе и немагнитных, примесей часто используют гравитационные очистители, хотя качество и производительность очистки СОЖ не отвечают при этом современным требованиям. Для обеспечения высокого качества и производительности очистки СОЖ от любых механических примесей предлагается разработать многоступенчатые тонкослойные гравитационные очистители (ТГО) и построенные на их основе технологические системы. При этом ограничением является требование обеспечения относительно невысокой стоимости этих ТГО.

В связи с вышеизложенным тема настоящей диссертационной работы, посвященной моделированию, расчету и проектированию высокоэффективных в технологическом и экономическом отношениях многоступенчатых тонкослойных гравитационных очистителей водных СОЖ на шлифовальных операциях, является актуальной.

Автор защищает: 1. Комплекс математических моделей ТГО, обеспечивающих расчёт критериев эффективности очистки СОЖ от механических примесей, учитывающих механизмы (аддитивный и синергетический) осаждения, конструктивные параметры ТГО, скорость движения СОЖ при очистке, физико-химические свойства разделяемых при очистке фаз (плотность, вязкость, толщина гидратной оболочки и др.), дисперсность механических примесей и их концентрацию в очищаемой СОЖ.

2. Результаты численных и натурных исследований эффективности очистки водных эмульсионных и синтетических СОЖ от абразивных частиц – зависимости критериев эффективности очистки от исходных условий и конструктивных параметров ТГО, выявленные адаптивность многоступенчатых ТГО к изменению исходных условий и отказам ступеней очистки и наследственность параметров дисперсности состава механических примесей при очистке.

3. Результаты экспериментальных исследований технологической эффективности операций круглого наружного шлифования периферией круга с применением СОЖ, очищенной в ТГО: зависимости параметров шероховатости Ra , Rz и Sm , коэффициента шлифования $K_{ш}$ и критической бесприжоговой подачи $V_{s\text{ кр}}$ от режима очистки и конструктивных параметров ТГО.

4. Методики расчета, проектирования и оптимизации одно- и многоступенчатых ТГО в зависимости от условий конкретной технологической ситуации.

5. Рекомендации по выбору конструктивных параметров ТГО и скорости движения СОЖ при очистке в зависимости от исходных условий.

Цель работы. Разработка технологически эффективных и экономичных одно- и многоступенчатых тонкослойных гравитационных очистителей СОЖ на шлифовальных операциях.

Для достижения поставленной цели решены следующие задачи:

1. Разработан комплекс детерминированно-вероятностных моделей ТГО, обеспечивающих расчёт параметров качества очистки СОЖ от механических примесей и экономичность ТГО с учетом его конструктивных параметров, производительности очистки, физико-химических параметров очищаемой СОЖ и удаляемых механических примесей.

2. Исследованы численным методом разработанные математические модели ТГО и определены значения критериев качества очистки СОЖ от механических примесей и экономичность этих очистителей на шлифовальных операциях. Выявлены зависимости указанных критериев и экономичности очистителей от исходных условий.

3. Разработаны методики и алгоритмы моделирования, расчета, проектирования и оптимизации технологически эффективных и экономичных многоступенчатых гравитационных модульных очистителей СОЖ на шлифовальных операциях.

4. Экспериментально подтверждена адекватность разработанных математических моделей и показана технологическая эффективность ТГО.

5. Опытными-промышленными испытаниями подтверждена эффективность многоступенчатых ТГО.

6. Разработаны рекомендации по расчету многоступенчатых ТГО СОЖ. Результаты работы приняты к использованию ЗАО «Системы водоочистки» и внедрены на совместном российско-германском предприятии «СтанкоВендт» и ЗАО «Кардан» (г. Сызрань).

Научная новизна. 1. С позиций детерминированно-вероятностного подхода разработан комплекс математических моделей, обеспечивающих расчёт критериев качества очистки СОЖ от механических примесей в ТГО. Модели учитывают длину осадительных перегородок и расстояние между ними, производительность очистки (скорость течения жидкости через рабочее пространство очистителя), плотности твердой и жидкой фаз, вязкость очищаемой жидкости и толщину гидратных оболочек частиц примесей, а также распределение частиц механических примесей по размерам и их концентрацию в СОЖ. Модели учитывают также аддитивный (независимое осаждение) и синергетический (коагуляция механических примесей) механизмы осаждения.

2. В результате численных исследований выявлены наследственность дисперсности гранулометрического состава механических примесей при очистке СОЖ и способность к адаптации многоступенчатых ТГО к изменению исход-

ных условий очистки и отказам ступеней очистки, определена длительность непрерывной работы ТГО до регенерации.

3. Проведена оптимизация одно- и многоступенчатых ТГО и оценены удельные капитальные вложения на единицу производительности в зависимости от исходных условий при их внедрении.

4. Установлено оптимальное распределение степени очистки СОЖ по ступеням ТГО.

Практическая ценность и реализация работы: 1. Разработаны технологические рекомендации по проектированию одно- и многоступенчатых ТГО.

2. Разработаны методики расчета, проектирования и оптимизации одно- и многоступенчатых ТГО.

3. Разработаны модульная конструкция и схемотехнические решения оптимизированных одно- и многоступенчатых ТГО.

Апробация работы. Основные результаты доложены на научно-технических конференциях УлГТУ, на VI и VII Конгрессах прокатчиков в 2005 и 2007 г.г., представлены на научно-техническом семинаре кафедр «Технология машиностроения» и «Металлорежущие станки и инструменты» в 2007 и 2008 г.г., а также на заседании НТС машиностроительного факультета УлГТУ в 2009 году.

Публикации. По теме диссертации опубликовано 9 работ, получено 8 патентов на изобретения и полезные модели.

Структура и объем работы. Диссертация состоит из введения, пяти глав, заключения, списка литературы (114 наименований) и приложений, включает 195 страниц машинописного текста, в том числе 31 таблицу и 109 рисунков.

2. ОСНОВНОЕ СОДЕРЖАНИЕ РАБОТЫ

Во введении обоснована актуальность работы, ее практическая значимость, сформулированы основные положения, выносимые на защиту.

В первой главе показано, что очистка СОЖ от механических примесей способствует существенному повышению качества шлифованных деталей и увеличению периода стойкости абразивных кругов.

Для удаления механических примесей из СОЖ используются различные очистители, однако по-прежнему остается актуальной проблема разработки очистителя, который был бы одновременно высокоэффективным в технологическом отношении и недорогим как с точки зрения капитальных затрат, так и эксплуатационных издержек. Если для очистки СОЖ от ферромагнитных частиц в последнее время появились новые перспективные разработки, например, кассетный магнитный сепаратор, то для удаления из СОЖ частиц абразива и связки пока нет высокоэффективного в технологическом и экономическом отношениях очистителя.

Привлекают внимание гравитационные очистители, которые относительно дешевы, просты в эксплуатации, удаляют любые механические примеси, не

требуют значительных энергетических затрат, но недостаточно производительны и занимают большие площади. Кардинальным решением проблемы представляется создание тонкослойных гравитационных очистителей и систем, построенных на их основе. Такие очистители сохраняют преимущества отстойников и обеспечивают высокую производительность качественной очистки СОЖ, занимая небольшие производственные площади. Для решения указанной проблемы необходимо разработать комплекс математических моделей, позволяющих рассчитывать, проектировать и оптимизировать ТГО и экономично обеспечивающие требуемое качество очистки СОЖ и производительность.

В заключение сформулированы цель и задачи работы, приведенные выше.

Во второй главе представлен комплекс разработанных с позиций детерминированно-вероятностного подхода математических моделей, обеспечивающих расчёт параметров качества очистки СОЖ в одно- и многоступенчатых ТГО, а также результаты исследования численными методами зависимости эффективности одно- и многоступенчатых ТГО от исходных условий очистки водных СОЖ от механических примесей.

Сущность детерминированно-вероятностного подхода заключается в том, что при рассмотрении взаимосвязи процессов очистки можно перейти от вероятностного представления, определяемого распределением дисперсных составов механических примесей в исходной (очищаемой) СОЖ $F_{и}(x)$ и распределением вероятностей отделения частиц размером d в сепараторе (очистителе) $F_{с}(x)$, к детерминированно-вероятностному представлению процессов очистки, при котором зависимость $F_{с}(x)$ или $\varepsilon(d)$ можно представить в виде двух гладкосопряженных парабол. Процесс очистки СОЖ в многоступенчатом ТГО представляется как «тракт», в котором n раз повторяются операции очистки.

«Головная» часть зависимости $\varepsilon(d)$ является детерминированной и аппроксимируется зависимостью $\varepsilon = Rd^2$ (кривая 1 на рис. 1), «хвостовая» часть – вероятностной (кривая 2), зависящей от дисперсного состава механических примесей $F_{и}(x)$.

На начальном этапе рассмотрения процесса осаждения сферической частицы в гравитационном очистителе (рис. 2) для упрощения не учитываем процессы коагуляции и считаем ламинарным режим течения жидкости, поскольку число Рейнольдса $Re < Re_{кр}$.

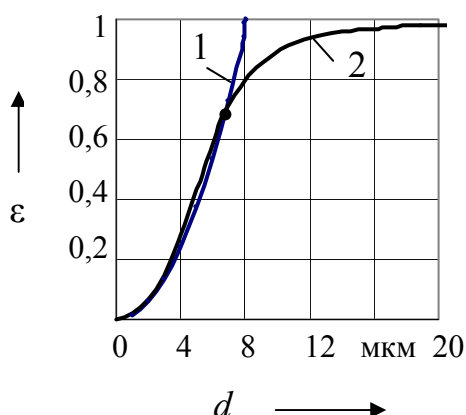


Рис. 1. Зависимость $\varepsilon(d)$:
1, 2 – соответственно «головная» часть
($y = R_1x^2$) и «хвостовая» часть
($y = 1 - R_2(1 - x)^2$) распределения

Степень очистки СОЖ ε в гравитационных очистителях, являющуюся основным показателем эффективности очистки (ГОСТ Р 52237), определим из условия

$$\varepsilon = t_{\text{пр}} \cdot t_{\text{ос}}^{-1}; \quad (1)$$

$$t_{\text{пр}} = L \cdot V^{-1}; \quad t_{\text{ос}} = h \cdot V_{\text{ос}}^{-1}, \quad (2)$$

где $t_{\text{пр}}$, $t_{\text{ос}}$ – время пребывания и осаждения частицы в ТГО соответственно, с; $V_{\text{ос}}$ – скорость осаждения частицы, формирующая кинетику осаждения всей совокупности частиц механических примесей из единицы объема, м/с.

Подставив зависимости (2) в выражение (1), получим:

$$\varepsilon = \frac{L \cdot V_{\text{ос}}}{V \cdot h}. \quad (3)$$

В соответствии с уравнением Стокса,

$$V_{\text{ос}} = \frac{(\rho_{\text{т}} - \rho_{\text{ж}}) \cdot g}{18 \cdot \eta} \cdot d^2, \quad (4)$$

где $\rho_{\text{т}}$ и $\rho_{\text{ж}}$ – плотность частицы и СОЖ соответственно, кг/м³; g – ускорение свободного падения, м/с²; η – коэффициент динамической вязкости, Па·с; d – диаметр эквивалентной частицы, м.

Загрязненная СОЖ

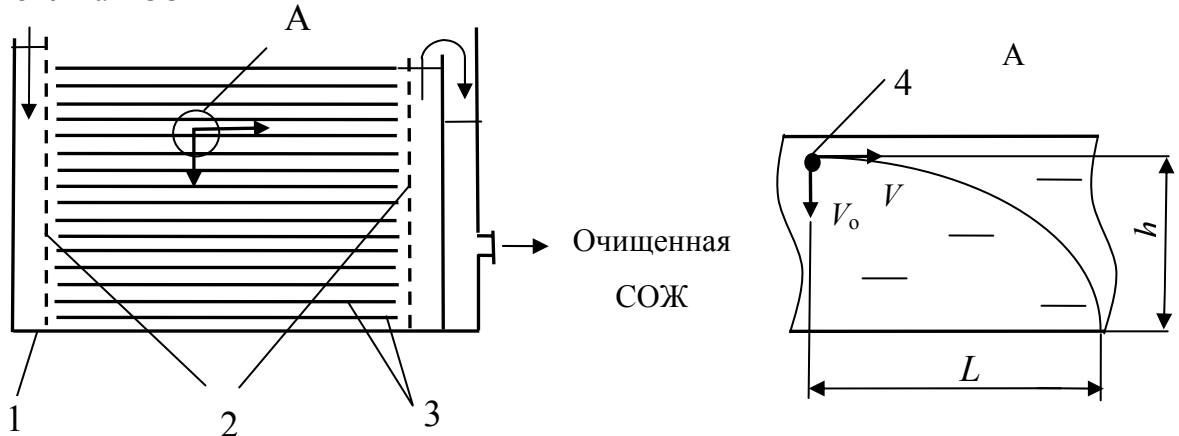


Рис. 2. Схема процесса осаждения частицы в ТГО:

1 – резервуар; 2 – распределительные перегородки; 3 – осадительные пластины; 4 – частица; h – расстояние между осадительными перегородками, м; L – длина пути частицы в ТГО (длина осадительной перегородки), м; V и $V_{\text{ос}}$ – скорость движения СОЖ и частицы в ТГО и скорость осаждения частицы под действием гравитационных сил соответственно, м/с

После подстановки выражения (4) в зависимость (3):

$$\varepsilon = \frac{L}{V \cdot h} \cdot \frac{(\rho_{\text{т}} - \rho_{\text{ж}}) \cdot g}{18 \cdot \eta} \cdot d^2. \quad (5)$$

Введем обозначения:

$$R_{\text{к}} = \frac{L}{h}; \quad R_{\text{р}} = \frac{g}{V}; \quad R_{\text{ф}} = \frac{(\rho_{\text{т}} - \rho_{\text{ж}})}{18 \cdot \eta},$$

где $R_{\text{к}}$, $R_{\text{р}}$, $R_{\text{ф}}$ – показатели, учитывающие влияние на степень очистки соответственно конструктивных параметров очистителя, режимов очистки, физических свойств очищаемой СОЖ и материала удаляемых частиц.

Тогда параметр

$$R' = R_k \cdot R_p \cdot R_\phi . \quad (6)$$

Для того, чтобы учесть влияние гидратной оболочки (толщина оболочки h_r), которая оказывает тормозящее действие на осаждение частицы, внесем изменения в R_ϕ : для частиц i -ой фракции $R_{\phi i} = \frac{\Delta \rho_{ki}}{18 \cdot \eta}$. При расчете ε необходимо учесть влияние концентрации механических примесей в СОЖ, поскольку с увеличением концентрации интенсифицируется коагуляция частиц в процессе осаждения. Для этого используем параметр $R_a = (C_{ит} \cdot C_{ид}^{-1})^l$.

Тогда обобщенный параметр

$$R = R' \cdot R_a = R_k \cdot R_p \cdot R_{\phi i} \cdot R_a. \quad (7)$$

Степень очистки СОЖ от частиц i -ой фракции в ТГО

$$\varepsilon_i = \frac{L (\rho_{ki} - \rho_{ж}) \cdot g \cdot C_{и} \cdot d_{ki}^2}{18 \cdot h \cdot V \cdot \eta \cdot C_{д}^l}. \quad (8)$$

Чтобы учесть дисперсный состав механических примесей, используем формулу из ГОСТ Р 52237:

$$\varepsilon = 1 - \frac{C_o}{C_{и}}, \quad (9)$$

где C_o и $C_{и}$ – концентрация механических примесей в очищенной и исходной СОЖ соответственно, мг/дм³.

Так как $C_o = \sum C_{oi}$, где C_{oi} – концентрация частиц i -ой фракции в очищенной СОЖ, мг/дм³, то $C_{oi} = C_{иi} \cdot (1 - \varepsilon_i)$, где ε_i определяется по формуле (8).

С учетом полидисперсности механических примесей степень очистки ε определяется следующим выражением:

$$\varepsilon = 1 - C_{и}^{-1} \cdot \sum_i C_{иi} \cdot (1 - R_i \cdot d_{ki}^2), \quad (10)$$

где R_i , $C_{иi}$, d_{ki} – определяются для конкретной фракции частиц примесей.

Используемая нами для расчетов математическая модель степени очистки СОЖ в ТГО выглядит следующим образом:

$$\varepsilon = 1 - C_{и}^{-1} \cdot \sum_i C_{иi} \cdot \left(1 - \frac{L \cdot (\rho_{ki} - \rho_{ж}) \cdot g \cdot C_{и}^l \cdot d_{ki}^2}{18 \cdot h \cdot V \cdot \eta \cdot C_{д}^l} \right). \quad (11)$$

Степень очистки СОЖ от частиц i -ой фракции на j -ой ступени многоступенчатого ТГО

$$\varepsilon_{ji} = \frac{L_j (\rho_{ki} - \rho_{ж}) \cdot g \cdot C_{и}^l \cdot d_{ki}^2}{18 \cdot h_j \cdot V \cdot \eta \cdot C_{д}^l}, \quad (12)$$

а степень очистки всего многоступенчатого очистителя –

$$\varepsilon_m = 1 - \sum_{i=1}^n f_i \left\{ 1 - \prod_{j=1}^m \left[1 - \frac{L_j (\rho_{ki} - \rho_{ж}) \cdot g \cdot C_{и}^l \cdot d_{ki}^2}{h_j \cdot V \cdot 18 \cdot \eta \cdot C_{д}^l} \right] \right\}. \quad (13)$$

Средний размер и частость частиц i -ой фракции после очистки на j -ой ступени в очищенной СОЖ

$$\overline{d_{oj}} = \sum_{ij} d_i \cdot f_{oj} ; \quad f_{oj} = \frac{C_{oj}}{\sum_i C_{oj}} . \quad (14)$$

$d_{50j} = f(\varepsilon_{ji})$ – определяется графическим путем непосредственно на графике функции $\varepsilon_{ji}(d_i)$ или из выражения $d_{50} = \sqrt{0,5 \cdot R^{-1}}$.

Среднее квадратическое отклонение на j -ой ступени

$$\sigma_j = \sqrt{\sum_i (d_i - \overline{d_{ij}})^2 \cdot f_{ij}} . \quad (15)$$

Продолжительность цикла работы многоступенчатого ТГО до регенерации (рис. 3)

$$t_n = \frac{0,5 \cdot \Delta L \cdot \rho_{oc}}{C_n \cdot V} \cdot \left(\frac{\Delta L \cdot g \cdot \Delta \rho_{\tau} \cdot C_n^l \cdot d^2}{h \cdot V \cdot 18 \eta \cdot C_d^l} \right)^{-1} . \quad (16)$$

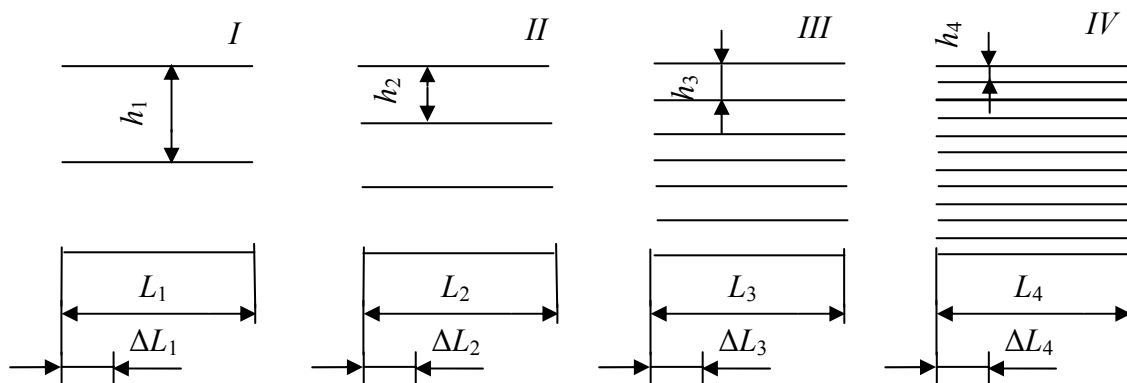


Рис. 3. Схема четырехступенчатого ТГО:

I, II, III, IV – номер ступени ТГО; h_1, h_2, h_3, h_4 – величина зазора между осадительными перегородками; L_1, L_2, L_3, L_4 – длина осадительной перегородки; $\Delta L = 0,001 L$ – расчетная длина

С использованием математических моделей (7) – (16) численным методом исследовали влияние скорости движения СОЖ V на критерии качества очистки СОЖ в многоступенчатых ТГО при расчетной степени очистки $\varepsilon = 0,9$ (рис. 4). Разумеется, с увеличением скорости V снижается качество очистки СОЖ (ε уменьшается, а d_{50} возрастает), но для ТГО с разным количеством ступеней это снижение сильно отличается: если при очистке СОЖ в одноступенчатом ТГО (рис. 4, I, a) при увеличении V в двадцать раз (с 0,005 до 0,1 м/с) степень очистки падает с 0,99 до 0,27, т.е. в 3,7 раза, то для двухступенчатого ТГО (рис. 4, II, a) ε уменьшается до 0,42 (чуть больше чем в 2 раза); для трехступенчатого ТГО (рис. 4, III, a) – до 0,6; для четырехступенчатого ТГО (рис. 4, IV, a) – до 0,63. Другими словами, увеличение количества ступеней позволяет стабильнее поддерживать заданные (расчетные) значения параметров качества СОЖ, т.е. многоступенчатые ТГО способны адаптироваться к изменению внешних условий.

Установлено, что параметр $\overline{d}_o / \sigma_o$ (рис. 4, b) изменяется мало, для всех ТГО это отношение близко к 2,6 ... 3,2 при исходном $\overline{d}_n / \sigma_n = 3$ в зависимости от изменения скорости V . Тем самым подтверждена наследственность параметров дисперсных со-

ставов механических примесей при очистке СОЖ в многоступенчатых ТГО.

Влияние возможных отказов ступеней многоступенчатого ТГО на его эффективность исследовали численным методом при очистке водных СОЖ. Выявлены изменения не только ε , но и других параметров, а также и их приращений, например $\Delta\varepsilon$ (рис 5). Эффективность очистки СОЖ при отказе одной или нескольких ступеней зависит не столько от количества отказавших ступеней, сколько от их сочетания. Наихудшие результаты показали варианты с отказом 3-ей и 4-ой ступеней одновременно. Высокие значения эффективности очистки при отказах одной, двух и даже трёх ступеней одновременно свидетельствуют об адаптируемости многоступенчатых ТГО к изменению их внутренней структуры.

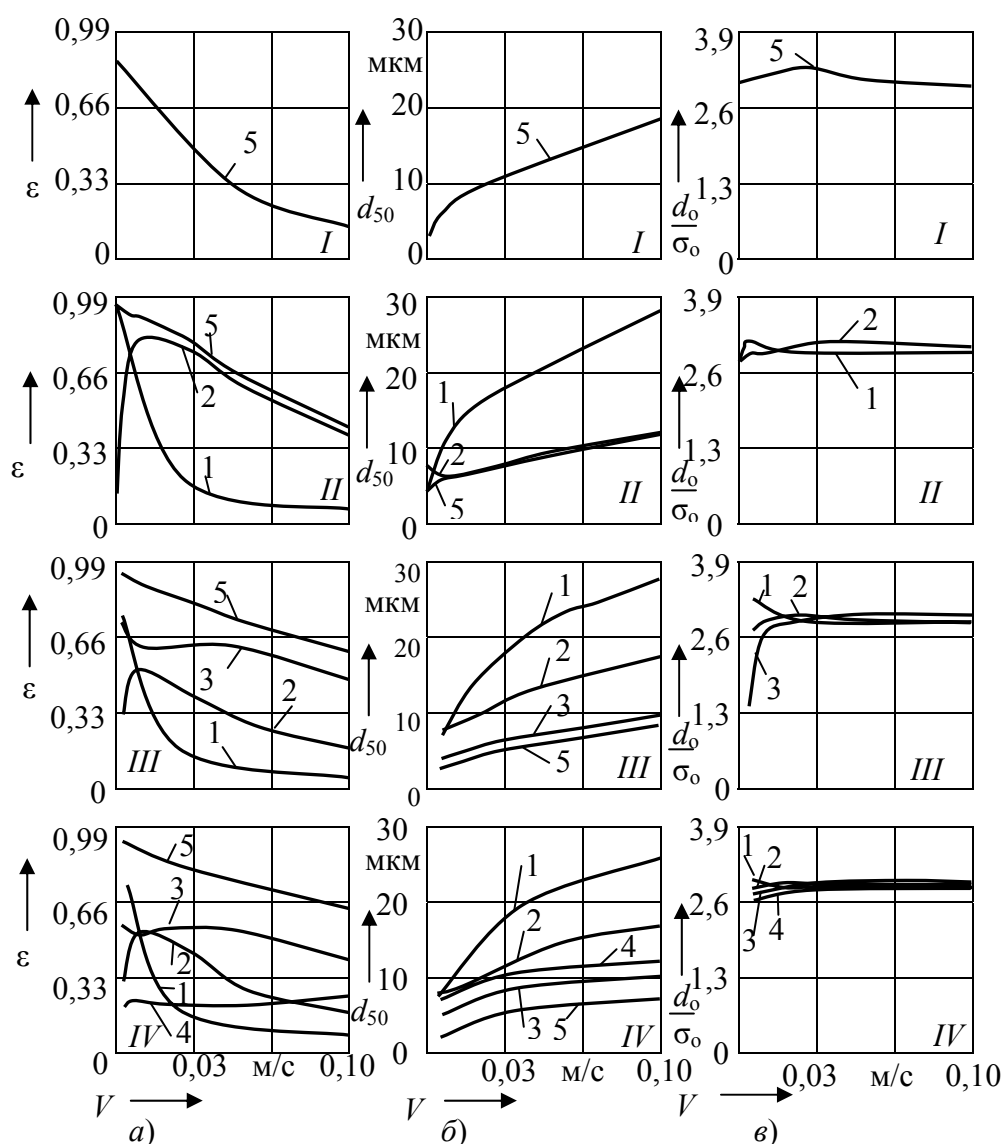


Рис. 4. Эффективность очистки СОЖ в одно- (I), двух- (II), трех- (III) и четырехступенчатом (IV) ТГО:

1, 2, 3, 4 – соответственно первая, вторая, третья, четвертая ступень очистки;
 5 – система очистки; $L_1 = 0,5 \text{ м}$; $L_2 = 0,75 \text{ м}$; $L_3 = 1 \text{ м}$; $L_4 = 1 \text{ м}$; $h_1 = 0,063 \text{ м}$; $h_2 = 0,028 \text{ м}$;
 $h_3 = 0,012 \text{ м}$; $h_4 = 0,009 \text{ м}$; $T = 20 \text{ }^\circ\text{C}$; $\eta = 0,001 \text{ Па}\cdot\text{с}$; $\rho_{\text{т}} = 4000 \text{ кг/м}^3$; $C_{\text{и}} = 100 \text{ мг/дм}^3$; $C_{\text{д}} = 40 \text{ мг/дм}^3$

При исследовании численным методом времени работы t_n многоступенчатого гравитационного очистителя (зависимость (16)) оказалось, что t_n сильно зависит от номера ступени. Так, для первой ступени $t_n = 200$ ч, для второй – 2000 ч, для третьей ступени – 25000 ч, а для четвертой – 75000 ч. Ясно, что такое большое различие значений t_n приводит к постановке задачи определения рациональной величины t_n и о конструировании многоступенчатых ТГО таким образом, чтобы сблизить величины t_n для различных ступеней. Однако чрезмерное увеличение времени непрерывной работы ТГО может привести к негативным последствиям (микробиологическому поражению СОЖ) в связи с возможным развитием анаэробной микрофлоры в толще осадка – в среде с пониженным содержанием кислорода.

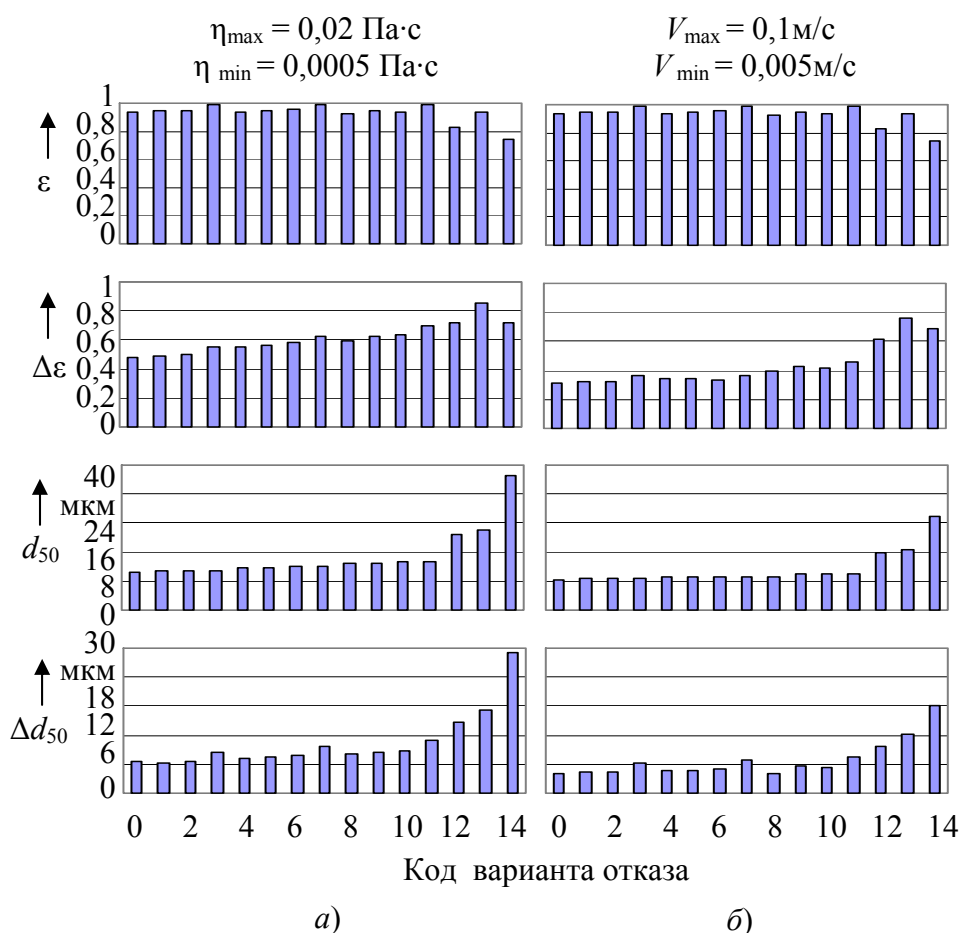


Рис. 5. Диаграмма изменений параметров эффективности очистки СОЖ в четырехступенчатом ТГО при отказе ступеней и изменении коэффициента динамической вязкости (а) и скорости протекания СОЖ через очиститель V (б)

В третьей главе изложена методика проведения экспериментальных исследований, выполненных с целью подтверждения адекватности математических моделей критериев качества очистки СОЖ в многоступенчатых ТГО на шлифовальных операциях. Экспериментальная установка была собрана на базе круглошлифовального станка 3Б161 (рис. 6): загрязненная СОЖ со станка попадает в модуль доочистки 3, где очищается до $C_0 = 10 \text{ мг/дм}^3$; затем СОЖ насосом 4 подается в емкость 5 модуля очистки, где в нее вводятся с помощью дозатора 6 абразивные микропорошки в пропорции 1:10 с учетом содержания абразивных компонентов в реальных механических примесях при шлифовании. Затем загрязненная СОЖ очищается в ТГО 7 и подается в зону шлифования.

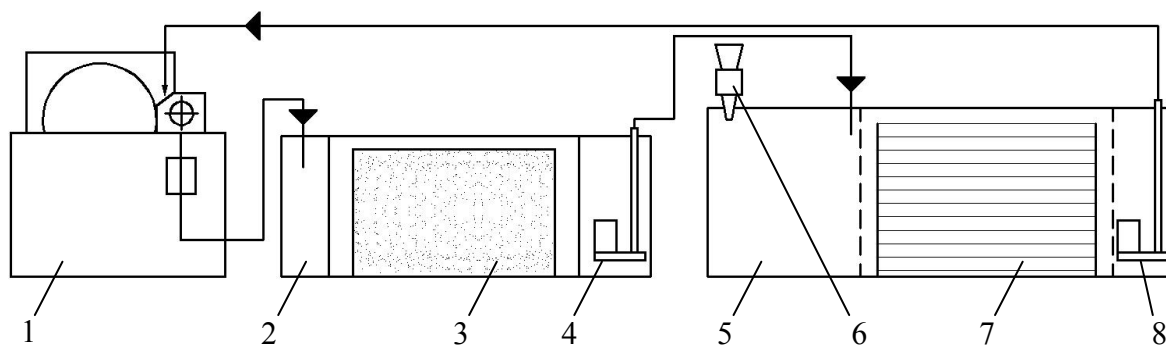


Рис. 6. Схема установки для исследования эффективности ТГО на операциях шлифования:

1 – станок 3Б161; 2 – емкость модуля доочистки; 3 – модуль доочистки; 5 – емкость ТГО; 4, 8 – насос; 6 – дозатор; 7 – ТГО

Эффективность шлифования оценивали по среднему арифметическому отклонению профиля Ra (ГОСТ 25142) на профилометре-профилографе мод. 170621.

Весь комплекс исследований проведен при шлифовании заготовок деталей врезанием по циклу: быстрый подвод круга, шлифование с заданной скоростью врезной подачи со съемом припуска $z = 0,5 \dots 0,55$ мм на радиус круга, «отскок» круга. Шлифовали образцы из стали 45, 45 ... 48 HRC и ШХ15, 62 ... 64 HRC. Перед началом серии опытов партию образцов вышлифовывали в один размер и выводили биение и конусность. Размеры образцов до и после шлифования замеряли универсальным инструментом (микрометром, штангенциркулем). Исследования выполнены при шлифовании электрокорундовыми кругами 1 – 600х63х305 на керамической связке: 24A16HC17K5, 24A16HCM17K5 и 24A16HCT17K5. Основной объем исследований выполнили с использованием ШК 24A16HCM17K5. Окружные скорости круга и заготовки соответственно 35 м/с и 30 м/мин. Диапазон скоростей врезной подачи $V_s = 0,1 \dots 0,5$ мм/мин. Использовали два состава водных СОЖ: СОЖ-1 относится к синтетическим жидкостям и представляет собой водный раствор 1 ... 1,2 % кальцинированной соды и 0,2 ... 0,3 % нитрита натрия; СОЖ-2 – 3 % - ная полусинтетическая жидкость на основе продукта APC-21, выпускаемого ЗАО «Химтек» (г. Ульяновск). Обработку экспериментальных данных и построение графиков производили с помощью программы «Microsoft Excel» на ПЭВМ, адекватность результатов оценивали по критерию Фишера F_p .

Экспериментальным путем выявлены зависимости $Ra(K_F)$, $Rz(K_F)$ и $Sm(K_F)$ при круглом наружном шлифовании с подачей поливом СОЖ, загрязненных абразивными микропорошками М5, М20, М40 и М63 и очищенных в ТГО (рис. 7). С уменьшением $K_F = V \cdot h$ значения Ra , Rz и Sm уменьшаются, поскольку снижается концентрация механических примесей в очищенной СОЖ C_o и крупность частиц механических примесей $\bar{d}_o$. Во всем интервале изменения комплексного параметра K_F от 0,07 до 2,5 м²/с обеспечиваемая при шлифовании величина Ra была меньше задаваемой по ГОСТ Р 50815 на 10 ... 20 %.

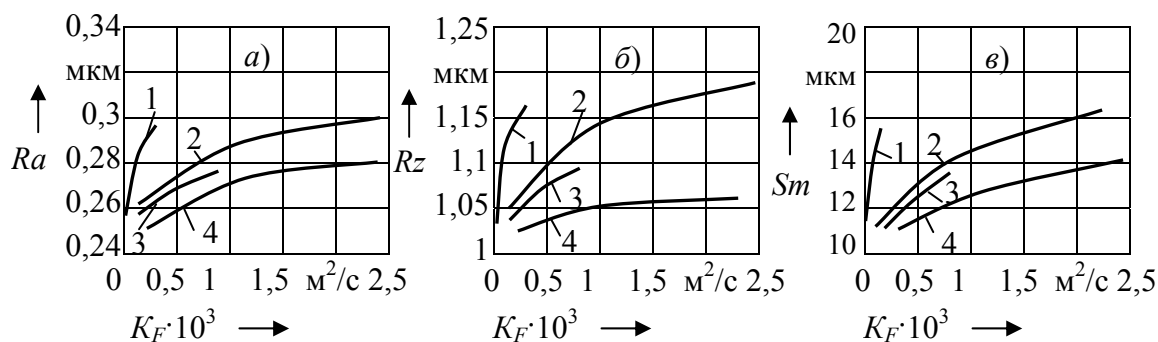


Рис. 7. Зависимости параметров шероховатости поверхностей заготовок Ra (K_F) (а), Rz (K_F) (б), Sm (K_F) (в), шлифованных с применением СОЖ-1, очищенной в ТГО от абразивных микропорошков:

1 – М5; $h = 0,004$ м; 2, 3, 4 – соответственно М20, М40, М63; $C_d = 80$ мг/дм³;
 $h_T = 1$ мкм; $\rho_T = 4000$ кг/м³; $\rho_{\text{ж}} = 1000$ кг/м³; $T = 20$ °С; $\eta = 0,001$ Па·с; $C_H = 1000$ мг/дм³;
 $h = 0,03$ м (кривые 2, 3, 4); $L = 0,2$ м; станок 3Б161; заготовки – сталь 45, 40 ... 45 HRC;
 $V_S = 0,3$ мм/мин; круг 24А16НСМ17К5; шлифование без выхаживания

Целесообразность применения ТГО для очистки водных СОЖ подтверждена результатами экспериментов (рис. 8), при которых варьировали скоростью прохождения СОЖ через ТГО V от 0,006 до 0,089 м/с и твердостью шлифовальных кругов. Во всех экспериментах применение ТГО обеспечивает заданные значения Ra . Соответственно при увеличении V значение коэффициента шлифования снижается на 50 ... 70 %. Подтверждена также возможность обеспечения заданных значений ε и C_0 варьированием критерием K_F (зазором h и скоростью V). Как и следовало ожидать, с уменьшением K_F для всех абразивных микропорошков качество очистки возрастало.

0,5

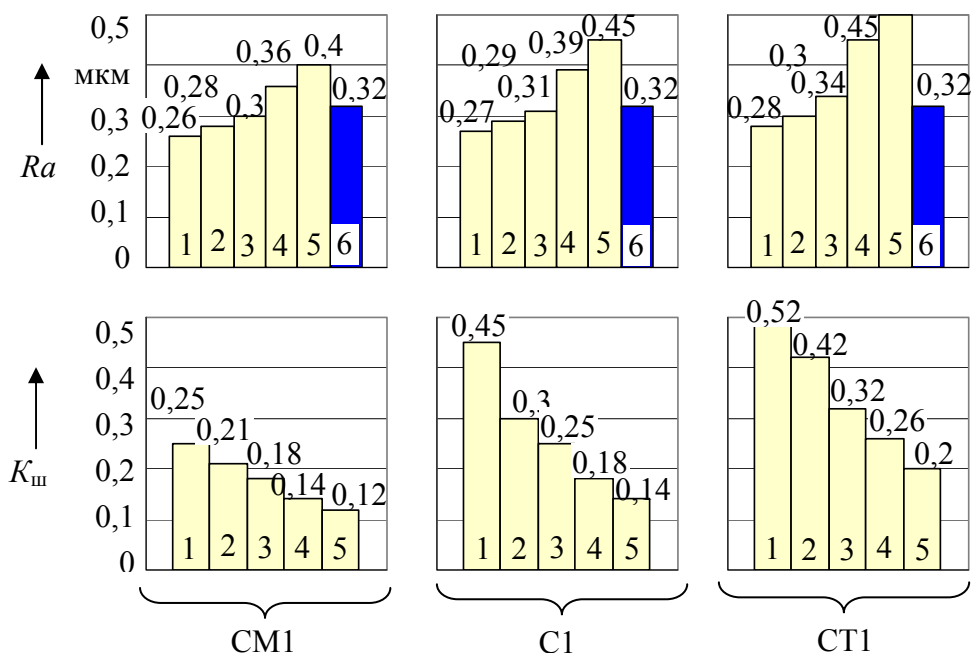


Рис. 8. Параметры Ra (а) и $K_{\text{ш}}$ (б) при шлифовании с применением СОЖ-1, очищенной в одноступенчатом ТГО:

1, 2, 3, 4, 5 – соответственно при $V = 0,006; 0,013; 0,019; 0,044; 0,089$ м/с; 6 – по ГОСТ Р 50815;
 $h = 0,03$ м; $L = 0,2$ м; станок 3Б161, сталь 45, 40 ... 45 HRC; круги 24А16НСМ17К5 (СМ1);
 24А16НС17К5 (С1); 24А16НСТ17К5 (СТ1); $T = 20$ °С; $\eta = 0,001$ Па·с; $C_H = 1$ г/дм³

В четвертой главе представлены разработанные методики автоматизированного расчета, проектирования и оптимизации одно- и многоступенчатых ТГО.

На основе математических моделей (11) – (16) разработан алгоритм расчета одиночного ТГО: последовательно вычисляются параметры R_k , R_p , R_{fi} , R_a , степень очистки СОЖ от i -ой фракции механических примесей ε_i , частоты i -ой фракции механических примесей после очистки f_{oi} , $\bar{d}_o$ и σ_o , а также отношение $\bar{d}_o / \sigma_o$. После этого определяются искомые значения ε , t_n .

При расчете многоступенчатого ТГО несколько раз (по числу ступеней) повторяется расчет одиночного гравитационного очистителя. На основе автоматизированного расчета по разработанным алгоритмам формируется массив данных, позволяющих с использованием параметрической компьютерной модели модуля МТГО – К в автоматизированном режиме получать всю необходимую для его изготовления проектно-сметную и технологическую документацию. Автоматизированный расчет и проектирование одно- и многоступенчатых ТГО обеспечивает системность при проектировании установок очистки СОЖ, особенно в условиях мелкосерийного производства и индивидуального изготовления.

Критерием оптимизации одноступенчатого ТГО послужила величина удельных капитальных вложений на единицу производительности K_Q при внедрении ТГО, ограничениями служили допустимые степень очистки $[\varepsilon]$ и производительность $[Q]$ очистителя. При $\varepsilon > [\varepsilon]$ и $Q > [Q]$ определяли значения конструктивных параметров и режима очистки, величину K_Q . Минимальное значение K_Q принимает при $\varepsilon \approx [\varepsilon]$ и $Q \approx [Q]$ и соответствует оптимизированному ТГО. Выявили основные конструктивные параметры B , H , L и h , обеспечивающие достижение заданных значений ε и Q . На выбор варианта, за счет которого при данной производительности обеспечивается требуемая величина $[\varepsilon]$ для одноступенчатого ТГО, существенно влияют удельные капитальные вложения, а следовательно, и результат оптимизации ТГО.

Установлено, что для оптимизации многоступенчатых ТГО следует назначать степень очистки $\varepsilon_j = 0,5$ на всех ступенях очистки, предшествующих последней, а для последней ступени рассчитывать ε_n по уравнению

$$\varepsilon_n = 1 - \frac{1 - \varepsilon_c}{(1 - \varepsilon_1)(1 - \varepsilon_2) \dots (1 - \varepsilon_{n-1})} \quad (17)$$

Оптимизацию количества ступеней очистки в многоступенчатом ТГО проводили путем сопоставления значений K_{Qopt} для двух-, трех- и четырехступенчатого ТГО. В связи с свойством адаптации многоступенчатых ТГО к изменению условий очистки, например, к увеличению производительности Q (скорости V), проверена эффективность многоступенчатых ТГО при одинаковой производительности, но при повышенных значениях V , соответствующих уменьшению требуемой площади живого сечения форсированного ТГО. Установлено, что многоступенчатые очистители могут работать при форсированном режиме и обеспечивают большие допус-

тимые значения V , а следовательно, и большую производительность Q при тех же габаритах пакета осадительных перегородок по сравнению с одноступенчатыми.

Опытно-промышленные испытания ТГО проведены на операциях глубинного шлифования на ФГУПП ММП «Салют», а также при очистке оборотной технологической водной жидкости, загрязненной металлическими частицами размерами 1 ... 1,5 мкм на НЛМК при листовой прокатке. Результаты опытно-промышленных испытаний подтвердили высокую технологическую эффективность ТГО при очистке СОЖ на шлифовальных операциях и при листовой прокатке.

На основе технологических рекомендаций и расчетов, проведенных автором, специалистами ЗАО «Системы водоочистки» спроектирован модуль тонкослойной гравитационной очистки водных жидкостей от механических примесей МТГО – К. Модули можно объединять в батарею. В конструкции заложена возможность варьирования числом ступеней очистки и величиной зазора в соответствии с результатами расчетов. Для применения при глубинном шлифовании предложена технологическая схема, позволяющая разработать и изготовить установки очистки и подачи СОЖ к станкам для глубинного шлифования, выпускаемых ЗАО СП «СтанкоВендт».

В пятой главе приведён расчёт экономического эффекта, достигнутого при внедрении системы очистки СОЖ, включающей ТГО, на ЗАО "Кардан". В результате снижения расходов на приготовление и утилизацию СОЖ, затрат на закупку и утилизацию фильтроплатна фактический годовой экономический эффект составил 2050 тыс. руб., доля эффекта, приходящаяся на ТГО, – 167 тыс. руб. в год.

Приложения включают справки о внедрении и расчет экономической эффективности от внедрения системы очистки СОЖ, включающей ТГО, на ОАО «АВТОВАЗ».

3. ОБЩИЕ ВЫВОДЫ

1. Качество поверхностей деталей, обеспечиваемое абразивной обработкой, напрямую зависит от чистоты применяемой СОЖ. Между тем, существующие очистители далеко не всегда могут обеспечить требуемое качество очистки СОЖ от механических, особенно неферромагнитных, примесей. Перспективным решением проблемы обеспечения высокой технологической и экономической эффективности очистки СОЖ от механических примесей на шлифовальных операциях является разработка многоступенчатых тонкослойных гравитационных очистителей.

2. Получен комплекс детерминированно-вероятностных моделей (8) – (16), позволяющих оценить значения критериев качества очистки (ε , d_{50} , $\bar{d}_0$, σ_0 , C_0) СОЖ в одно- и многоступенчатых тонкослойных гравитационных очистителях. Модели учитывают их конструктивные параметры, режим очистки, физико-

химические параметры разделяемых сред, а также концентрацию и дисперсный состав механических примесей в очищаемой СОЖ.

3. Численными исследованиями математических моделей выявлено влияние условий очистки на критерии эффективности и стабильность очистки в одно- и многоступенчатых тонкослойных гравитационных очистителях, свойство их адаптации к изменению исходных условий очистки и отказам отдельных ступеней очистки или их сочетаний, определена длительность непрерывной очистки СОЖ для ступеней очистки многоступенчатого тонкослойного гравитационного очистителя, наследование параметров дисперсности механических примесей после очистки СОЖ.

4. Экспериментальные исследования эффективности тонкослойных гравитационных очистителей при круглом наружном шлифовании периферией круга доказали возможность и целесообразность их применения при окончательном шлифовании. Выявлены зависимости параметров шероховатости обработанных поверхностей Ra , Rz и Sm от комплексных параметров, характеризующих процесс очистки СОЖ в тонкослойном гравитационном очистителе, крупности механических примесей в исходной СОЖ, состава СОЖ и характеристики круга. Установлено положительное влияние очистки СОЖ в тонкослойном гравитационном очистителе на величину коэффициента шлифования, что обусловлено снижением износа абразивного круга, и критическую скорость бесприжоговой врезной подачи. При прочих равных условиях очистка водоземulsionных СОЖ в тонкослойных гравитационных очистителях обеспечивает повышенную технологическую эффективность по сравнению с шлифованием с применением синтетических СОЖ.

5. Экспериментально подтверждена возможность и целесообразность применения одно- и многоступенчатых тонкослойных гравитационных очистителей для очистки СОЖ от абразивных частиц размером менее 5 мкм.

6. Разработанные методики оптимизации одно- и многоступенчатых тонкослойных гравитационных очистителей надежно обеспечивают достижение заданных степени и тонкости очистки, концентрации и дисперсности механических примесей в очищенной СОЖ.

7. Установлено оптимальное распределение степени очистки по ступеням: для первой и последующих (кроме последней) ступеней степень очистки 0,5; для последней ступени ϵ рассчитывается исходя из требуемого значения степени очистки для системы в целом.

8. Разработанная модульная конструкция многоступенчатых тонкослойных гравитационных очистителей СОЖ предназначена для использования в широком диапазоне значений производительности – от 30 до 120 м³/ч, а батарей модулей – до 720 м³/ч и более. При этом остаточное содержание механических примесей в очищенной СОЖ не превышает 100 мг/дм³ (самого жесткого требования по ГОСТ Р 50815).

9. Расчетная величина удельных капитальных вложений на единицу производительности при внедрении оптимизированных многоступенчатых тонкослойных гравитационных очистителей в зависимости от количества ступеней и условий очистки не превышает 8 ... 10 тыс. руб. / (м³/ч) (в ценах 2009 года).

10. Результаты работы внедрены в действующее производство. В результате снижения расходов на приготовление и утилизацию СОЖ, затрат на закупку и утилизацию фильтропалотна при внедрении систем очистки на ЗАО «Кардан» (г. Сызрань) фактический годовой экономический эффект составил 2050 тыс. руб., из них на долю ТГО приходится 167 тыс. руб.

По теме диссертации опубликовано 9 работ, получено 4 патента на изобретения и 4 патента на полезные модели.

Публикации в изданиях по перечню ВАК и патенты на изобретения

1. Булыжев Е.М. Тонкослойные гравитационные очистители / Е.М. Булыжев, М.Е. Краснова, Е.П. Терешенок // Справочник. Инженерный журнал. – 2008. – № 10. – С. 54 – 57.

2. Булыжев Е.М. Влияние конструктивно-технологических параметров, свойств СОЖ и механических примесей на эффективность тонкослойного гравитационного очистителя / Е.М. Булыжев, М.Е. Краснова, Е.П. Терешенок // Справочник. Инженерный журнал. – 2008. – № 10. Приложение – С. 6 – 10.

3. Булыжев Е.М. Гранулометрический состав абразивного шлама, образующегося при правке шлифовального круга / Е.М. Булыжев, А.Ю. Богданов, М.Е. Краснова // Справочник. Инженерный журнал. – 2008. – № 10. – С. 50 – 54.

4. Булыжев Е.М. Математическая модель процесса тонкослойной гравитационной очистки / Е.М. Булыжев, А.Ю. Богданов, М.Е. Краснова // Справочник. Инженерный журнал. – 2008. – № 10. Приложение – С. 10 – 14.

5. Булыжев Е.М. Эффективность очистки СОЖ в тонкослойных гравитационных очистителях / Е.М. Булыжев, А.Ю. Богданов, М.Е. Краснова, Е.П. Терешенок // Справочник. Инженерный журнал. – 2008. – № 10. Приложение – С. 2 – 6.

6. Патент 2317130, Российская Федерация, В01D 35/06, В01С 1/00. Магнитный сепаратор / Е.М. Булыжев, М.Е. Краснова, Н.Н. Наумова; заявл. 26.05.2006; опубл. 20.02.2008. – Бюл. № 5.

7. Патент 2317131, Российская Федерация, В01D 35/06, В01С 1/00. Магнитный сепаратор / Е.М. Булыжев, М.Е. Краснова, Н.Н. Наумова; заявл. 26.05.2006; опубл. 20.02.2008. – Бюл. № 5.

8. Патент 2320544, Российская Федерация, С02 F 1/28. Способ очистки жидкостей из ряда: оборотные и заборные воды, промышленные стоки, технологические жидкости, и комплекс для его осуществления / Е.М. Булыжев, М.Е. Краснова, В.В. Семенов, П.О. Осипов; заявл. 03.07.2006; опубл. 27.03.2008. – Бюл. № 9.

9. Патент 2355460, Российская Федерация, B01D 27/02, B01D 24/08. Патронный фильтр / Е.М. Булыжев, Э.Е. Булыжев, М.Е. Краснова; заявл. 10.11.2007. опубл. 20.05.2009. – Бюл. № 14.

Публикации в других изданиях и патенты на полезные модели

10. Булыжев Е.М. Опыт применения установок «Вита-С» для очистки СОЖ на вальцешлифовальных станках/ Е.М. Булыжев, В.Г. Ромашкин, М.Е. Краснова // Сборник трудов VI Конгресса прокатчиков (Липецк, 17 – 20 октября, 2005). Том 2. – М.: МОО «Объединение прокатчиков», 2006. – С. 296 – 298 .

11. Булыжев Е.М. Тонкослойный гравитационный очиститель / Е.М. Булыжев, М.Е. Краснова, Н.Н. Наумова // Вестник УлГТУ. – 2006. – № 3 – С. 34 – 35.

12. Краснова М.Е. Структурированные гравитационные очистители // Вестник УлГТУ. – 2006. – № 4 – С. 45 – 49.

13. Рябов Г.К. Интегральная технологическая система очистки водных жидкостей от магнитных шламов/ Г.К. Рябов, М.Е. Краснова. Н.Н. Наумова // Сборник трудов VII Конгресса прокатчиков (Москва, 15 – 28 октября, 2007) том 2. – М.: МОО «Объединение прокатчиков», 2007. – С. 533 – 536.

14. Патент на полезную модель № 54941, Российская Федерация, C10M 175/04. Многоцелевой системно-интегрированный комплекс очистки больших объемов оборотных вод / Е.М. Булыжев, М.Е. Краснова; заявл. 15.03.2006; опубл. 27.07.2006. – Бюл. № 21.

15. Патент на полезную модель № 55299, Российская Федерация, B01D 17/035. Интегрированный технологический модуль очистки больших объемов воды / Е.М. Булыжев, М.Е. Краснова, Н.Н. Наумова, В.В. Семенов; заявл. 15.03.2006; опубл. 10.08.2006. – Бюл. № 22.

16. Патент на полезную модель № 57269, Российская Федерация, C02F 1/40. Интегрированный технологический модуль для тонкослойной очистки больших объемов воды от механических примесей и нефтепродуктов/ Е.М. Булыжев, В.В. Семенов, Н.М. Винокуров, М.Е. Краснова, Н.Н. Наумова, В.В. Семенов; заявл. 04.05.2006; опубл. 10.10.2006. – Бюл. № 28.

17. Патент на полезную модель № 63356, Российская Федерация, C10M 175/04, B01D 35/06. Интегрированный технологический модуль очистки больших объемов воды / Е.М. Булыжев, М.Е. Краснова, Н.Н. Наумова; заявл. 03.07.2006; опубл. 27.05.2007. – Бюл. № 15.

Автореферат

КРАСНОВА М.Е.

**РАЗРАБОТКА И ИССЛЕДОВАНИЕ ТЕХНОЛОГИЧЕСКОЙ
ЭФФЕКТИВНОСТИ ТОНКОСЛОЙНЫХ ГРАВИТАЦИОННЫХ
ОЧИСТИТЕЛЕЙ ВОДНЫХ СОЖ
НА ШЛИФОВАЛЬНЫХ ОПЕРАЦИЯХ**

Подписано в печать _____ . Формат 60х84/16.
Бумага офсетная. печать трафаретная. Усл. печ.л.1,16.
Тираж 100 экз. Заказ _____
Типография УлГТУ, 432027, г. Ульяновск, ул. Сев. Венец, д.32.