

На правах рукописи

МАКСАКОВА Ирина Вениаминовна

РАЗВИТИЕ КЛАССИФИКАЦИИ
ЗАГРЯЗНЕНИЙ ГСМ И РАБОЧИХ ЖИДКОСТЕЙ

Специальности 05 02 02 - "Машиноведение и детали машин",
05 02 04 - "Трение и износ в машинах"

АВТОРЕФЕРАТ
диссертации на соискание ученой степени
кандидата технических наук

Челябинск 1997

Работа выполнена в Челябинском государственном техническом университете (ЧГТУ).

Научный руководитель - доктор технических наук, профессор
БАРЫШЕВ В.И.

Официальные оппоненты: доктор технических наук, профессор
ЛЮМОСОВ Ю.Н.;
кандидат технических наук, с.н.с.
ПЫЛЬНЕВ А.А.

Ведущее предприятие - ГОСНИИ ПТ (Государственный научно-исследовательский институт по промышленным тракторам).

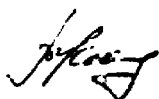
Защита состоится " _____ " _____ 1997 г., в _____ часов,
на заседании специализированного ученого совета К053.13.02 Челябинского государственного технического университета.
Адрес: 454080, г.Челябинск, пр.им.В.И.Ленина, 76.

Отзывы на автореферат в двух экземплярах, заверенных печатью, просим направлять по адресу: 454080, г.Челябинск, пр.им. В.И.Ленина, 76, ЧГТУ, ученому секретарю диссертационного совета К053.13.02.

С диссертацией можно ознакомиться в библиотеке ЧГТУ.

Автореферат разослан " _____ " _____ 1997 г.

Ученый секретарь
специализированного совета,
доцент, к.т.н.



Жестков В.В.

ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

Актуальность работы. Существенный рост энергонасыщенности машин, требования к их безотказности и ресурсу, при дальнейшем снижении затрат на техническое обслуживание и ремонт, вывели загрязнение технических жидкостей в число основных причин снижения эксплуатационных показателей техники.

По данным ВНИИМАШ количество отказов, связанных с загрязнением ГСМ, составляет до 25% в системах питания карбюраторных двигателей; от 20 до 45% в системах питания дизелей и от 60 до 90% в современном гидроприводе.

Поэтому проблемы, связанные с загрязнением технических жидкостей, в последнее время относятся к числу наиболее актуальных.

Определенная часть этих проблем, связанных с абразивным изнашиванием техники, комплексно решается в рамках программ, разработанных Научным Советом РАН по трению и смазке.

В системе Росстандарта действует международный технический комитет МПК-184 "Обеспечение промышленной чистоты", по программе комплексной стандартизации которого в области промышленной чистоты ПКС № 4501.21.89 ведутся работы по дальнейшему развитию классификаций, методов и средств контроля, нормирования и обеспечения промышленной чистоты техники на всех этапах жизненного цикла.

Для решения поставленных программой задач и ввиду большого разнообразия загрязнений, остается актуальным дальнейшее развитие их систематизации и классификации по ряду основных показателей.

В первую очередь это относится к таким качественным показателям загрязнений, как форма частиц, ее размер и гранулометрический состав, представленным сегодня в машиноведении недостаточно полно. Данные показатели загрязнений существенно влияют на процессы седиментации и фильтрации, на процессы абразивного изнашивания техники. Поэтому введение в практику новых научно обоснованных классификаций загрязнений дает более полную и единообразную их оценку, а следовательно, и возможности более эффективного (объективного) контроля, нормирования и обеспечения промышленной чистоты.

При лабораторно-стендовых испытаниях техники (двигателей, насосов, редукторов, сепараторов, фильтров и т.д.) широко используют кварцевые

микророшки в качестве искусственных загрязнителей ГСМ, рабочих жидкостей и воздуха. (ГОСТы 14146-79, 25277-82, 27851-88, 8002-74 и ряд отраслевых методик). Степень дисперсности этих порошков принято оценивать удельной поверхностью, т.е. показателем, не допускающим его использование в ходе испытаний техники.

В этой связи диссертационная работа посвящена исследованиям и разработке новых классификаций стандартных искусственных загрязнителей (кварцевых микророшков) по показателям качества и, в частности, классификации частиц по форме в зависимости от размера, по гидравлической крупности и гранулометрическому составу (показателю).

Цель работы. Дальнейшее научно обоснованное развитие классификаций загрязнений ГСМ и рабочих жидкостей по показателям качества обеспечивает решение ряда важных прикладных задач, таких как совершенствование методов и средств контроля, нормирования и обеспечения промышленной чистоты, направленных, в свою очередь, на повышение качества техники.

Для достижения указанной цели необходимо:

- на основе исследований влияния параметров загрязнений оценить основные, оказывающие существенное влияние на абразивный износ и очистку;
- экспериментально установить зависимость показателей формы частиц кварцевых микророшков от их размера ;
- разработать классификацию частиц кварцевых микророшков по показателям формы и экспериментально подтвердить ее практическую целесообразность на примере седиментации в гравитационном поле;
- установить экспериментально зависимость между удельной поверхностью и гранулометрическим составом кварцевых микророшков;
- разработать классификацию искусственных загрязнителей ГСМ и рабочих жидкостей по коэффициенту измельчения и экспериментально подтвердить ее практическую целесообразность на примере совершенствования метода оценки эффективности центробежных очистителей.

Научная новизна работы. Установлены закономерности:

- зависимости показателей формы частиц кварцевых микророшков от размера частиц;
- влияния формы частицы на параметры очистки в гравитационном и центробежном полях;

- изменения показателей качества кварцевых микропорошков (удельная поверхность и коэффициент измельчения) от времени дробления.
- взаимосвязи между удельной поверхностью и коэффициентом измельчения кварцевых микропорошков.

Практическую ценность работы составляют:

- научно обоснованные классификации загрязнений ГСМ и рабочих жидкостей по гранулометрическому составу (коэффициенту измельчения), по форме в зависимости от размера, обеспечивающие более полную оценку загрязнений по показателям качества;
- возможность диагностирования на основе установленных законов процессов и явлений в технике, связанных с загрязнением ГСМ и рабочих жидкостей,
- полученные уравнения движения частиц в силовом поле рекомендуются для расчета основных параметров очистки;
- практические рекомендации по совершенствованию стандартного метода испытаний центробежных очистителей путем введения для оценки их эффективности показателя качества загрязнителя (коэффициента измельчения).

Реализация и внедрения результатов работы. Разработанные классификации загрязнений технических жидкостей направлены для реализации в Научно-исследовательский центр контроля и диагностики технических систем. Отдельные классификации приняты НИЦ КД для введения в стандарты РФ 1997 г.

Публикации и апробация работы. Основные положения диссертационной работы докладывались, обсуждались и были одобрены на 47 и 48-й научно-технических конференциях Челябинского государственного технического университета (г. Челябинск, 1995, 1996 г.г.), на IX научно-технической конференции "Теория и практика рационального использования ГСМ и рабочих жидкостей в практике" (г. Челябинск, 1996 г.).

По теме диссертации опубликовано 4 печатные работы.

Структура и объем работы. Диссертация состоит из введения, 4 глав, выводов и заключения, списка использованной литературы из 103 наименований и 2 приложений. Диссертационная работа изложена на 214 страницах машинописного текста, содержит 34 рисунка, 28 таблиц и 10 фотографий.

Во введении обоснована актуальность темы диссертации. Отмечается, что из всех подвидов механического изнашивания наибольшее влияние на надежность и долговечность машин оказывает абразивное, связанное с загрязнением топлив, масел, смазок, рабочих жидкостей и воздуха частицами механических примесей. Наряду с повышением износостойкости и долговечности техники, комплексно решаемых в рамках долгосрочных программ ИС РАН РФ по проблемам износостойкости, международным научно-техническим комплексом "Надежность машин", в рамках программы ПКС № 4501.21.89 "Промышленная чистота" решается ряд проблем, связанных с необходимостью дальнейшего развития стандартных методов и средств контроля и обеспечения чистоты ГСМ и рабочих жидкостей. По программе ПКС № 4501.21.89 планируется значительное (в 1,5 - 3 раза) повышение технико-экономических показателей техники за счет повышения уровня взаимодействия участников жизненного цикла техники на основе стандартизации, прогрессивных норм промышленной чистоты, более развитых классификаций, методов и средств контроля и обеспечения промышленной чистоты.

Первая глава диссертации посвящена анализу исследований физико-химических свойств загрязнения, состояния и тенденции развития классификаций загрязнений ГСМ и рабочих жидкостей. Исследованиям в этой области посвящены многочисленные работы Рыбакова К.В., Коваленко В.П., Григорьева М.А., Борисовой Г.В., Бербера В.А., Осина А.Б., Данилова В.М., Белянина П.Н., Маева В.Е., Тимиркеева Р.Г., Удлера Э.И., Шарифова А.Р., Скрицкого В.Я., Гольдшмидта А.И., Зимина А.И., Барышева В.И., Мосина А.И., Зеркалова Д.В. и многих других.

Наиболее развитыми сегодня являются две группы классификаций: структурно-ранговые классификации понятий и классификации свойств. Таксономия, являясь теорией систематизации и классификации сложно организованных явлений или объектов, использует широкий ряд ранговых категорий (показателей ранга качества), включающий следующие классификационные группировки: род, вид (подвид), тип, класс (подкласс) и т.д. Основными принципами построения классификаций свойств сложноорганизованных явлений или объектов по принятым классификационным признакам сегодня являются: принципы конкретности, возрастающего количества (величины), эволюции (этапа) и линейности. Физико-химические свойства загрязнений

ГСМ и рабочих жидкостей в настоящее время изучены наиболее полно. Установлено, что основным источником загрязнений воздуха, ГСМ и рабочих жидкостей является почвенная пыль. Значительную часть пыли (от 60 до 98%) составляют частицы кварца (SiO_2), твердость которых по классификации Мооса оценивается 6-7 баллами, т.е. выше твердости многих конструктивных сталей.

Высокие показатели твердости, прочности, плотности и адгезионных свойств особенно малых частиц кварца обуславливают им и высокую абразивность. Особенностью почвенной пыли является ее полидисперсность, т.е. в ней на некотором интервале содержатся частицы кварца практически всех размеров. Установлено, что в действительности основную часть загрязнений ГСМ и рабочих жидкостей (до 95% и выше) составляют частицы размером до 50 мкм, а наиболее опасными для современной техники являются частицы от 2 до 25 мкм. На абразивные свойства частиц влияет не только размер, но и их форма, зависящая от кристаллической структуры и свойств материала. Общая методология познания такова, что в первую очередь исследуют влияние количественных характеристик объекта на тот или иной процесс при существенных ограничениях качественных его характеристик, ввиду их большого разнообразия, сложности познания, систематизации и классификации.

Так до настоящего времени для испытаний техники используют только два стандартных микропорошка, качественная характеристика которых (степень дисперсности) косвенно представляется удельной поверхностью (5600 и 10500 $\text{см}^2/\text{г}$). Это объясняет, в частности, и тот факт, что в наиболее распространенных сегодня классификациях промышленной чистоты, приведенных в табл.1, все классы (шкала количества, дисперсных составов) ограничиваются одним и тем же, но своим грануло-метрическим составом.

Представление качества загрязнений (степени дисперсности) гранулометрическим составом или соотношением кодовых чисел по ИСО-4406 для практики менее приемлемо, чем коэффициентом измельчения K_v по ГОСТ 28028-89. В этом случае стандартные уровни степени дисперсности всех классов чистоты по ИСО-4406 соответствуют значениям коэффициента измельчения 8, 16, 32 и 64, что свидетельствует о несоответствии между собой действующих стандартов и практической целесообразности использования показателя K_v для подобных целей.

Таблица 1

Классификация	Кол-во классов	Гранулометрический состав (%) при размерных группах частиц, мкм					Коефф. измельчения K_n
		5-10	10 - 25	25 - 50	50 -100	100-200	
ГОСТ 17216-71	19	62,2	32,2	3,2	0,4	0,1	2
"Chinchinnati" (США)	12	72,1	23,7	3,2	0,34	0,03	3
SAE (США)	7	78	19	2,7	0,3	0,03	4
NAS - 1638 (США)	14	82,6	14,6	2,6	0,28	0,02	5,7*

* - при размерных группах 5-15 и 15-25 мкм.

В еще меньшей степени развита классификация частиц загрязнений по их форме. В первую очередь это объясняется практическим отсутствием экспериментальных данных о геометрических формах абразивных частиц кварца размером до 50 мкм, составляющих основное количество частиц загрязнений ГСМ и рабочих жидкостей. Связано это с определенным разнообразием форм частиц. Так, если форма естественных кварцевых частиц (песка), как первоначального, исходного материала, всегда достаточно окатанная и более или менее близка к сферической, то форма вторичных частиц, полученных после измельчения любым способом может быть различной и зависит от размера частиц. В ряде отраслей для учета отличия формы частиц от сферической используют геометрический коэффициент формы или коэффициент сферичности, либо такие косвенные параметры как стоковский, аэродинамический, эквивалентный массовый, поверхностный или оптический, проекционный и другие радиусы частиц.

В этих условиях дальнейшее научно обоснованное развитие классификаций загрязнений, и в первую очередь стандартных искусственных, по форме и гранулометрическому составу частиц, обеспечит более эффективное решение ряда важных прикладных задач, связанных с обоснованием

норм и требований к промышленной чистоте и совершенствованием методов и средств контроля и обеспечения промышленной чистоты.

Во второй главе изложены основы теории абразивного изнашивания пар трения и седиментации частиц в гравитационном и центробежном полях, отражающие влияние размера и формы частиц загрязнений на эти взаимосвязанные процессы при эксплуатации техники.

1. В теории абразивного изнашивания Львова П.Н., Хрушова М.М., Тененбаума М.М., Крагельского И.В., Виноградова В.Н., Икрамова У.А., Кашеева В.Н., Барышева В.И. и многих других исследователей, абразивные частицы моделируются в виде пирамид, сфер или округлых соединений плоскостей, радиусы которых пропорциональны размеру частиц. Это обеспечивает лишь качественную сходимость теоретической и практической прямой пропорциональной зависимости износа металлов от размера абразивных частиц. Так, для случая свободных абразивных частиц, разрушение которых носит хрупкий характер, Барышевым В.И. предложена следующая зависимость высоты слоя снятого металла S от ряда основных факторов абразивного изнашивания:

$$S=C(\sqrt[3]{\frac{P_{\text{нрст}} E_a^2 n}{\Sigma a^2}} - C_1) d\psi / H_k, \quad (1)$$

где $P_{\text{нрст}}$ - нагрузка, которую может воспринимать абразивная частица до разрушения сферических выступов, контактирующих с плоскостью металла; d - диаметр абразивной частицы; a - диаметр поверхности контакта частицы с металлом твердостью H_k ; E_a - модуль упругости материала абразивной частицы; n - количество частиц, воспринимающих и передающих нагрузку; ψ - отношение числа режущих абразивных частиц к общему числу частиц, воспринимающих нагрузку; C и C_1 - коэффициенты пропорциональности.

При этом приняты допущения о сферичности режущих углов абразивных частиц, о группировке их в режущие и царапающие и ряд других.

Для определения количественной характеристики процесса абразивного изнашивания металлов требуется создание более реальных моделей абразивных частиц по форме, так как последняя может существенно влиять на их размеры, как трехмерных тел. Практически это сводится к нахождению коэффициентов пропорциональности, коэффициентов формы или значений постоянных, используемых в известных моделях абразивного изнашивания.

Отличие естественных минеральных частиц по форме и микрогеометрии от моделей (шар, куб, пирамида) обеспечивает им различные абразивные свойства и за счет более устойчивых условий ориентации и шаржирования естественных частиц на поверхностях пар трения. Ориентация естественных частиц в зазорах пар трения идет по наименьшему размеру частиц, в то время как по действующим теориям и методам контроля частиц за классификационный размер принимается наибольший, что, естественно, существенно снижает достоверность оценки влияния размера частиц на износ и заклинивание пар трения.

2. Гравитационная очистка, осаждение или отстаивание является широко используемым способом удаления загрязнений из жидкостей и газов. Основными расчетными параметрами, определяемыми при гравитационном осаждении, является величина осаждаемой частицы и скорость осаждения.

На практике, в том числе и методиками ряда стандартов (ГОСТ 2138-91, ГОСТ 3647-80, ГОСТ 17601-90 и др.), определение этих параметров зачастую продолжает осуществляться по формуле Стокса, выведенной с рядом допущений: не учитываются конвективный член исходного уравнения Навье-Стокса, форма частицы принимается сферической, а скорость осаждения - постоянной. При этих допущениях уравнение Стокса для определения скорости осаждения частиц с учетом классификационного (характерного) размера частицы записывается в следующем виде:

$$v = [d_{\text{эв}}^2 (\rho_1 - \rho_2) g] / 18\mu \quad (2)$$

где $d_{\text{эв}} = l_{\text{эв}}$ - максимальный размер частицы; g - ускорение свободного падения; ρ_1 и ρ_2 - плотности частицы и жидкости; μ - динамическая вязкость жидкости.

Исследования Григорьева М.А., Борисовой Г.В., Рыбакова К.В., Коваленко В.К., Грин Х. и многих других показывают, что действительные скорости осаждения частиц загрязнений значительно ниже расчетных. Предложенные, например, Коваленко В.К. и Ильинским А.А. расчетные формулы для определения скорости осаждения частиц включают коэффициент их формы, но расхождение между расчетной и действительной скоростями осаждения частиц продолжает оставаться существенным, что связано в том числе и с недостаточно корректным определением коэффициентов. Анализ уравнения сил, действующих на осаждаемую в жидкости частицу загрязнения позволяет описать их линейными дифференциальными уравнениями второго порядка, решение которых определяет кинематику частицы на всем

пути ее движения в виде:

$$\left. \begin{aligned} X &= C_1 + C_2 e^{-\beta x} + At/B, \\ v &= C_1 - C_2 \beta e^{-\beta x} + A/B, \\ j &= A - Bv, \end{aligned} \right\} \quad (3)$$

где $A = g(1 - C_p) = \text{const}$; $B = 3\pi \nu C_p d_{\text{эос}} / V_n = \text{const}$; t - время; $C_p = \rho_s / \rho_n$; C_1 и C_2 - постоянные коэффициенты; x, v, j - путь, скорость и ускорение частицы.

Определение силы сопротивления движению частицы произвольной формы в вязкой жидкости W_x по методике Стокса позволило представить эту силу в виде:

$$W_x = W_x' f_n, \quad (4)$$

где W_x' - сумма проекций элементарных сил трения и давления на направление движения, постоянная и не зависящая от положения площадки;

f_n - площадь поверхности тела произвольной формы.

С учетом пропорциональной связи f_n с миделевым сечением частицы f_m получен коэффициент миделевого сечения

$$K = 4f_m / \pi l_{\text{эос}}^2, \quad (5)$$

где f_m и $l_{\text{эос}}$ достаточно точно определяются микроскопическим анализом частиц загрязнений, $f_m = \pi d_{\text{эос}}^2 / 4$, $d_{\text{эос}} = l_{\text{эос}} \sqrt{K}$ - диаметр сферы площадью f_m .

Коэффициент K , вводимый в уравнение Стокса (2), делает это уравнение применимым для более точного определения скорости осаждения частиц произвольной формы.

3. Вопросам теории очистки в центробежном поле, расчета, конструирования и практического использования центрифуг посвящены многочисленные работы Бербера В.Н., Григорьева М.А., Рыбакова К.В., Коваленко В.Н., Данилова В.М., Юткевича Р.М., Говдина Е.М., Бремера Г.И. и др.

Ввиду сложности процессов осаждения частиц загрязнений в центрифугах (особенно камерных тонкослойных), связанной с зависимостью параметров осаждения от конструктивного исполнения центрифуг, параметров потока жидкости, количества, размеров, формы и плотности частиц загрязнений, теорию центробежной очистки в тонкослойных центрифугах в реальных условиях представляют как полуматематическую.

В этих же работах теоретическое определение второго основного параметра очистки - скорости осаждения, осуществляется подобно скорости осаждения в гравитационном поле с заменой гравитационной силы центробежной. При этом к допущениям, принятым Стоксом, добавляются допущения о постоянстве радиальной скорости и положения частицы (у стенки), что еще более увеличивает разрыв между расчетной и опытной скоростями.

Предложенная система уравнений кинематики частицы в центробежном поле, полученная подобно ур. 3, лишена этих недостатков, учитывает форму частицы и поэтому дает более корректный результат расчета.

Из рассмотренного следует, что исследования зависимостей формы частиц от размера и свойств материала может существенно способствовать дальнейшему развитию теории абразивного изнашивания и очистки, отсюда более научно обоснованному подходу при назначении норм и требований к промышленной чистоте, к совершенствованию методов и средств контроля и обеспечения промышленной чистоты.

В третьей главе приведены методики исследований по теме диссертации.

1. В основу методики определения проективного (миделевого) сечения частиц были положены методы микроскопирования и дисперсного анализа абразивных материалов, микропорошков и загрязнений по ГОСТ 8002-74, ГОСТ 3647-71 и РМТ2 Н90-2-76. Для определения размера и формы частиц использовался микроскоп марки PZO OE1 с объект-микрометром марки ОМП-У4.2 (с ценой деления 0,01 мм), переоборудованный для обеспечения верхнего и нижнего освещения образца. Микроскоп был дооборудован фотоаппаратом "Зенит" с объективом "Гелиос-44М". В качестве объекта исследования использовались кварцевые обогатенные (до 70 % основной фракции) микропорошки М3, М7, М20, М40 и М60, приготовленные помолотом на шаровой вибромельнице и дополнительной сепарацией Кузинским заводом точных технических камней из кварцевых песков Кичитинского месторождения (Челябинская обл.). Химический состав кварцевого песка приведен в табл. 2.

Для получения достоверных результатов обмеру были подвергнуты более 3000 частиц. Обработка результатов эксперимента проводилась на основах теории вероятности и математической статистики по разработанной для ЭВМ программе.

Таблица 2

Химический состав песка, содержание химических элементов, %					
SiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	CaO	MgO	орг.ан.
96,8-97,1	1,6-2,1	0,35-0,58	0,02-0,05	0,02-0,03	0,15-1,2

Плотность частиц кварца составляет $2,65 \text{ г/см}^3$.

2. Методика исследования влияния размера и формы частиц на скорость их осаждения в гравитационном поле (определение гидравлической крупности частиц) основывалась на методе контроля промышленной чистоты жидкости на приборе ПКЖ-904А (автоматический счетчик частиц). На приборе дисперсному анализу подвергалось загрязнение определенного объема жидкости (смесь керосина КО-22 (90%) и масла АМГ-10 (10%); вязкость $\nu_{20} = 1,6 \text{ мм}^2/\text{с}$, плотность $\rho = 0,85 \text{ г/см}^3$) до и после его осаждения в течении расчетного времени (по Стоксу). Для осаждения использовался стеклянный сосуд диаметром 50 мм. Исходная чистота жидкости - 6 класс по ГОСТ 71216-71 обеспечивалась очисткой на стенде СОГ -904А. В качестве искусственного загрязнителя использовался кварцевый микропорошок М60 с концентрацией в жидкости 0,0025% , что обеспечивало условия осаждения, при которых частицы малого размера оказывают наименьшее влияние на осаждение более крупных частиц.

3. Методика исследования гранулометрических характеристик кварцевых микропорошков, используемых в качестве искусственных загрязнителей при испытаниях техники, составлена на основе дисперсного анализа микропорошков на приборе ПКЖ-904А. В качестве объекта исследований использовались кварцевые микропорошки с удельной поверхностью 1700, 3600, 5600 и 10500 $\text{см}^2/\text{г}$, изготовленные из песка Кичитинского месторождения Центральной заводской лабораторией испытания двигателей (ЦЗЛИД) АО "ЧТЗ" на шаровой вибромельнице. Оценка гранулометрического состава по коэффициенту измельчения проводилась в соответствии с основными положениями ГОСТ 28028-89.

4. Методика определения параметров осаждения частиц в центробежном поле в зависимости от их размера и метод оценки эффективности очистки

тителя по коэффициенту измельчения составлены на основе положений методик НИИ (г.Саратов), ГОСТ 17216-89 и методики лаборатории фильтрации института Гидравлики Технологического центра фирмы Диана Корпорейшн. Исследования проводились на установке СОГ-904А с использованием в качестве загрязнителя микропорошка с удельной поверхностью $3600\text{см}^2/\text{г}$ и контролем количества и качества загрязнения прибором ПКЖ-904А.

В четвертой главе изложены результаты исследований и предложения по дальнейшему развитию классификации загрязнений на их основе.

1. По результатам измерений параметров частиц определены коэффициенты миделевых сечений каждой частицы порошка $K_i = (4f_m) / \pi l_{\text{мж}}^2$ и средние коэффициенты миделевых сечений поддиапазонов ($C=2,5$ мкм) каждого порошка $K(d)_i = \sum(K_i n_i) / n_i$, где n_i и n_i - число частиц, имеющих одинаковое значение K_i и число частиц в i -том диапазоне. По величинам $K(d)_i$ различных порошков определены средние коэффициенты миделевого сечения поддиапазонов частиц одинаковых размерных интервалов K_d независимо от марки порошка: $K_d = (\sum[K(d)_i n_i]) / N$, где N - суммарное число частиц в i -том поддиапазоне всех марок порошков. Установлено и исключено влияние систематических погрешностей. Результаты определения коэффициентов сведены в таблицы.

В результате обработки этих материалов, с использованием метода наименьших квадратов, зависимость коэффициента миделевого сечения K от размера частиц представлена уравнением параболы следующего вида:

$$K = 1,8,45 \cdot 10^{-2} \sqrt{l_{\text{мж}}} - 1,25 \quad , \quad (6)$$

Отклонение опытных значений K_d от расчетных на приведенной зависимости не превышает 2%. Графическая интерпретация установленной зависимости $K_d = f(l_{\text{мж}})$ показана на рис.1.

Для классификации частиц по коэффициентам миделевых сечений и форме на графике рис.1 нанесены коэффициенты миделевого сечения ряда геометрических фигур: круга, эллипса, квадрата, прямоугольника с соотношением сторон 1,5 и 2,0, а также геометрических тел: сферы, эллипсоида, куба, тетраэдра и пирамиды.

Используя в качестве классификационного признака коэффициент миделевого сечения размерных групп частиц K_d , как среднее арифметическое значений K_d частиц граничных размеров группы (фракции) и геометричес-

Шар $K = 1$;

Прямоугольник $1 \times 1,5$ $K=0,6$;

Квадрат $K \approx 0,7$;

Прямоугольник $1 \times 2,0$ $K=0,5$.

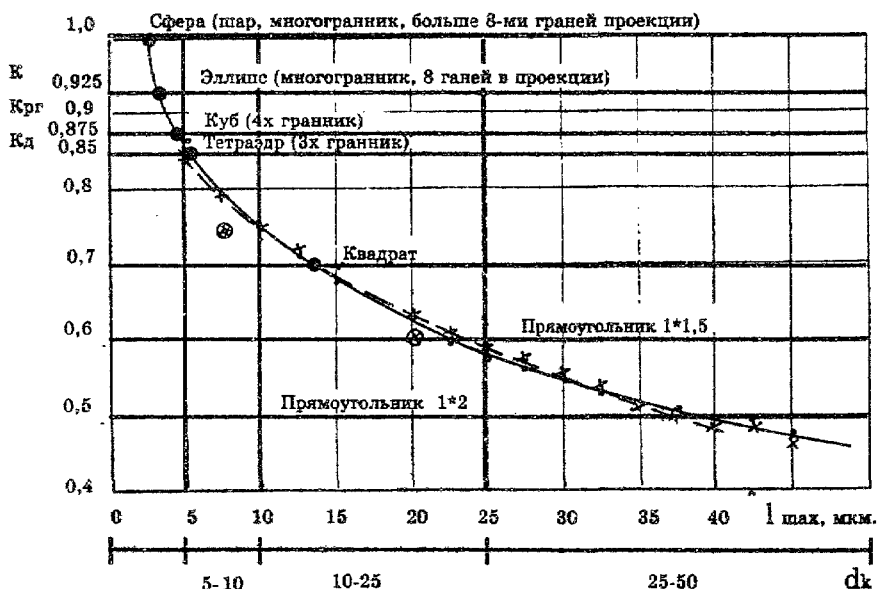


Рис.1. Зависимость коэффициентов миделевого сечения K_d и K_k от размера частиц:

— $K = f(L_{мех})$ — $K_d = f(L_{мех})$

кие фигуры, наиболее близкие по форме и своему K_d значениям $K_{кр}$, разработана и предлагается для практического использования дополнительная классификация частиц загрязнений по форме, представленная табл.3.

Установленная закономерность — повышение значения коэффициента миделевого сечения с уменьшением размера частицы, т.е. приближение в этом случае формы частицы к сферической, объясняется тем, что по мере измельчения частицы приближаются к монокристаллу, прочность их возрастает, происходит скалывание (затупление) лишь граней, представляющих пересечение кристаллографических плоскостей.

2. В области рационального использования ГСМ и повышения надежности техники, исследований по осаждению механических частиц в ГСМ практически не проводилось. При необходимости, как правило, ско-

Таблица 3

Размерная группа частиц (фракция)	Классификационный признак			
	$K_{гр}$	Геометрическая форма		Гидравлическая крупность, мм/мин
		фигура	тело	
3 - 5	0,95	○ - круг	○ - сфера	—
5 - 10	0,8	□ - квадрат	□ - куб	0,182
10 - 25	0,65	<div style="display: inline-block; vertical-align: middle;"> <div style="border: 1px solid black; width: 15px; height: 10px; margin-bottom: 2px;"></div> <div style="display: flex; align-items: center; gap: 5px;"> a в </div> </div> - прямоугольник, $b/a=1,5$		0,49
25 - 50	0,5	<div style="display: inline-block; vertical-align: middle;"> <div style="border: 1px solid black; width: 15px; height: 10px; margin-bottom: 2px;"></div> <div style="display: flex; align-items: center; gap: 5px;"> a в </div> </div> - прямоугольник, $b/a=2,0$		1,28
50 - 100	0,35	---	---	2,72

рость осаждения частиц рассчитывается по Стоксу (для осаждения единичных тел шаровой формы), что не соответствует реальным условиям.

Учитывая, что плотность частиц механических примесей выше плотности воды, на практике нормы времени на отстаивание ГСМ, и в первую очередь, топлива, обычно связывают с их обезвоживанием (норма отстаивания - 3 часа на метр налива). Исследованиями Рыбакова К.В., Коваленко В.П. и Жулдыбина Е.Н. установлено, что данные нормы не обеспечивают полного удаления свободной воды и наиболее опасных частиц механических примесей, размерами до 25 мкм из топлива ТС-1. По этим причинам в работах Зеркалова Д.В. рекомендуется отстаивать дизельное топливо от механических примесей 50-100 часов. На время осаждения частиц загрязнений существенное влияние оказывает размер и связанная с ним форма частиц, косвенно отражающие массу частиц и коэффициент лобового сопротивления. Поэтому по этим параметрам частицы можно классифицировать

комплексным признаком схожести – скоростью осаждения, рассматриваемой в ряде отраслей, как показатель гидравлической крупности частиц. Результаты наших исследований седиментации кварцевых частиц искусственных загрязнителей в гравитационном поле приведены на рис.2.

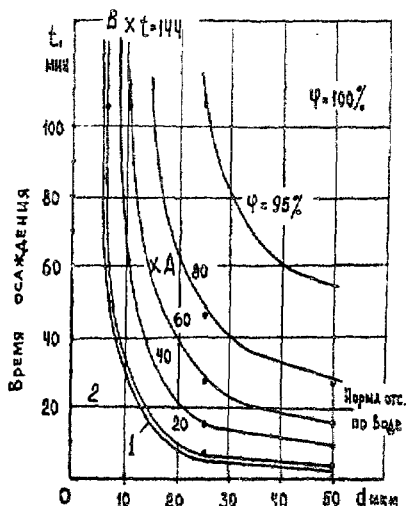


Рис.2. Влияние размера и формы частиц (фракций) на время их осаждения и коэффициент осаднения. 1-расчетная кривая (по Стоксу); 2-норма времени отстаивания светлых нефтепродуктов по воде; Точки А и В – время осаждения капель воды размером 15 – 20 и 10 – 15 мкм, соответственно (по Рыбакову К.В.).

Коэффициент осаднения численно (в %) соответствует количеству частиц, которое выпало в осадок из отстаиваемой жидкости на момент контроля. Как следует из рис.2, фактическая скорость осаждения наиболее крупных частиц (фракций) не менее чем в 50 раз меньше расчетной, а наиболее мелких – в 7-10 раз. Это можно объяснить следующими причинами.

Первая и основная – существенное отличие форм реальных частиц от сферической, принятой при расчетах. В этом случае снижение скорости объясняется не только отличием массы и лобового сопротивления частиц от расчетных, но и более неравномерным, колебательно-планирующим осаждением частиц, характерным для плоских тел (плитки, диски и т.п.).

Другой причиной является торможение осаждения крупных частиц более мелкими, которые осаждаются с меньшими скоростями и содержатся в отстаиваемой жидкости в большем количестве.

Третья причина – адсорбция на поверхности частиц поверхностно-активных веществ (ПАВ), содержащихся в нефтепродуктах, слой которых уве-

личивает сопротивление движению частиц в жидкости.

Для уровня промышленной чистоты и характера загрязнений, соответствующим условиям поставки нефтепродуктов и условиям эксперимента, размерные группы чистоты (фракций) загрязнений могут быть классифицированы следующими значениями коэффициента сопротивления (табл. 4).

Таблица 4

Размерная группа частиц (фракция), мкм	5 - 10	10 - 25	25 - 50	50 - 100
Коэффициент сопротивления $K_0 = t_p/t_0$	0,143	0,025	0,04	0,0195

Гидравлическая крупность размерных групп частиц, как дополнительный их классификационный признак, приведена в табл. 3.

3. Проведенными исследованиями установлены эмпирические зависимости между временем помола кварцевого песка (фракция 160-320 мкм), удельной поверхностью полученного микропорошка и его коэффициентом измельчения. Для наиболее распространенных кварцевых микропорошков с удельной поверхностью $S = 1700; 3600; 5600$ и $10500 \text{ см}^2/\text{г}$, изготовленных по рекомендации ГОСТ 8002-74, зависимость удельной поверхности от коэффициента измельчения K_m аппроксимируется уравнением вида:

$$S = a - bK_m^m,$$

при следующих значениях коэффициентов: $a = 23685$; $b = 20875$; $m = 1,162$. Погрешность в этом случае составляет от 6 до 25 %. По результатам исследований может быть предложена следующая классификация кварцевых микропорошков по гранулометрическому составу (табл.5).

Таблица 5

Удельная поверхность $S, \text{ см}^2/\text{г}$	1500	3000	5600	9400	10500
Коэффициент измельчения K_m	2	4	8	16	22

Классификация кварцевых микропорошков по коэффициенту измельчения разработана на основе общих принципов построения классификаций и, в

частности, на принципе возрастающего качества, шкала которого практически построена по геометрической прогрессии с модулем 2.

4. Проведены исследования процесса центробежной очистки ГСМ на установке СОГ-904А с использованием в качестве оценочных показателей наряду с общепринятыми (коэффициенты отсоева и эффективности) коэффициента измельчения. Установлено, что в этом случае представляется возможность более полно и объективно оценить ряд явлений процесса очистки. Так, установлено, что более интенсивный сброс отложений при малых навесках (20 г) объясняется определенным превышением сил давления потока жидкости на рыхлый формирующийся слой отложений над центробежными силами, ввиду недостаточного количества крупных частиц (25-50 мкм и выше), формирующих пористую структуру этого слоя. Дальнейшее повышение навески загрязнителя сопровождается ростом показателей качества процесса очистки до определенного уровня с последующим их ухудшением.

Введением для оценки процесса очистки коэффициента измельчения позволяет вести классификацию очистителей по показателям вязеёмкости и времени выхода системы с центробежным очистителем на оптимальный режим. Так, например, на установке СОГ-904А при навеске загрязнителя 80г осаждение частиц размером 25-50 мкм и выше происходит в 2-3 раза интенсивней, чем при снижении ее в 2 раза. При снижении навески в 4 раза размывание слоя отложений идет практически постоянно.

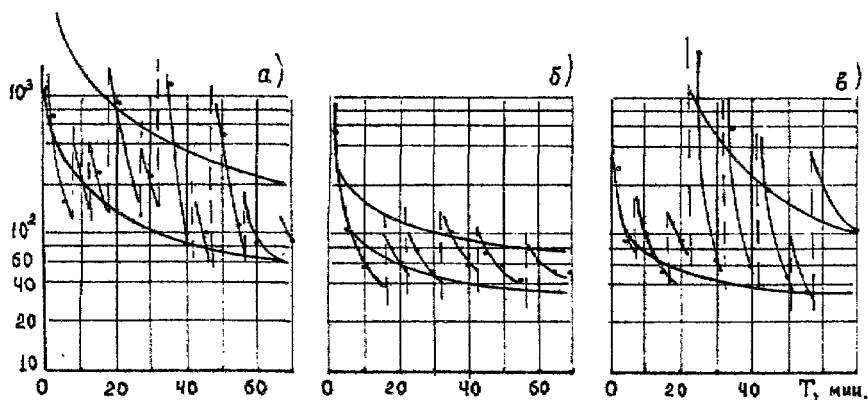


Рис.3. Изменение содержания частиц размерной группы 10-25 мкм в процессе очистки рабочей жидкости стендом СОГ-904А.
а - навеска 20 г; б - навеска 40 г; в - навеска 80 г.

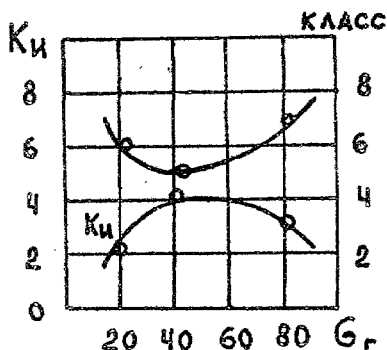


Рис.4. Влияние навески загрязнителя на класс чистоты гранулометрический состав загрязнителя жидкости при очистке стандом СОГ-904А.

В этой связи рекомендуется введение в методики испытаний центробежных очистителей оценку качества загрязнителя по степени дисперсности с помощью коэффициента измельчения.

ОБЩИЕ ВЫВОДЫ И РЕКОМЕНДАЦИИ

На основании выполненных исследований можно сделать следующие выводы и рекомендации:

1. Проведенный анализ существующих классификаций и стандартизации загрязнений ГСМ и рабочих жидкостей, выполненный на основе оценки влияния их физико-химических свойств на абразивный износ трущихся пар и очистку ГСМ, показал, что качественные показатели загрязнений и, в частности кварцевых микропорошков, широко используемых при стандартных методах испытаний машин, представлены в классификациях недостаточно полно для решения задач повышения и прогнозирования надежности техники.

2. Анализ теоретических и экспериментальных исследований по определению степени влияния свойств загрязнений на процессы абразивного изнашивания пар трения, гравитационной и центробежной очистки ГСМ позволил установить, что наиболее существенное влияние на эти процессы оказывают такие качественные параметры как размер и форма частиц загрязнений. Однако из-за недостаточной изученности механизма, теоретические закономерности этого влияния либо отсутствуют либо недостаточно достоверны.

3. Разработана физическая модель процесса взаимодействия частиц

загрязнений с поверхностями сопрягаемых деталей, позволившая определить влияние параметров абразивных частиц на характер и величину износа.

4. С целью уточнения методики теоретического определения основных параметров очистки - скорости и времени осаждения, предложены дифференциальные уравнения, описывающие кинематику частицы загрязнений в гравитационном и центробежном полях, учитывающие зависимость силы сопротивления вязкой жидкости от формы частицы в виде коэффициента миделевого сечения, а также переменность радиальной координаты и ускорения частицы в центробежном поле.

5. Разработанная на базе методик ГОСТа по анализу механических примесей в ГСМ, методика микроскопического анализа позволила экспериментально установить параболическую закономерность взаимосвязи между размерами и формой частиц кварцевых микропорошков, получаемых стандартным методом помола кварцевых песков, и что дисперсный состав их соответствует логарифмически нормальному распределению, что позволяет связать параметры порошков (размеры, миделевы сечения и коэффициент миделевого сечения) с их удельной поверхностью.

По результатам экспериментальных исследований разработана и рекомендуется классификация формы частиц по коэффициенту миделевого сечения, включающая 4 размерных группы (класса форм).

6. Экспериментально подтверждена зависимость скорости осаждения кварцевых частиц искусственных загрязнителей от их размера и формы (фракции, класса).

Рекомендуется в качестве классификационного признака, более полно для практических целей представляющего параметры осаждения фракций частиц, принять гидравлическую крупность и коэффициент сопротивления (замедления) фракций.

7. Установлена целесообразность введения, наряду с удельной поверхностью, классификации стандартных кварцевых микропорошков и по их гранулометрическому составу с использованием коэффициента измельчения, отражающего степень их дисперсности.

Показано, что в этом случае имеется возможность обоснованно рекомендовать эталонные искусственные загрязнители ГСМ по классификациям NAS-1638, SAE, ГОСТ 17216-82 и др.

8. Экспериментально установлена взаимосвязь между коэффициентом

измельчения и удельной поверхностью, а также их зависимость от времени помола кварцевого песка, используемого в качестве исходного материала, позволяющие оптимизировать процесс приготовления эталонных искусственных загрязнителей ГСМ по действующим классификациям для контроля автоматических счетчиков частиц типа ПКЖ-904.

9. Экспериментально подтверждена целесообразность использования коэффициента измельчения загрязнений для оценки эффективности работы центробежного очистителя, так как действующие стандартные показатели не дают достаточной информации о динамике процесса изменения качественных характеристик загрязнений при очистке.

Разработанные по результатам проведенных исследований новые классификации загрязнений и предложения по дальнейшему развитию действующих, рекомендованы Научно-исследовательскому центру контроля и диагностики технических систем (НИЦ КД) Росстандарта для использования при выполнении программы комплексной стандартизации в области промышленной чистоты ПКС № 4501.21-89.

Основное содержание диссертации опубликовано в следующих работах.

1. Барышев В.И., Максакова И.В. Характеристики абразивных частиц загрязнений ГСМ и их классификация. 47-я научно-техническая конференция. - Челябинск: ЧГТУ, 1996.
2. Барышев В.И., Максакова И.В. Исследование формы частиц искусственных загрязнителей ГСМ // Теория и практика рационального использования горюче-смазочных материалов и рабочих жидкостей в технике. IX научно-техническая конференция. - Челябинск: ЧГТУ, 1996.
3. Барышев В.И., Максакова И.В. Развитие классификации промышленной чистоты горюче-смазочных материалов // Техническая эксплуатация, надежность и совершенствование автомобилей: Научн. тр. - Челябинск: ЧГТУ, 1996.
4. Барышев В.И., Максакова И.В. Проблемы повышения надежности гидропривода // Исследования силовых установок и шасси транспортных и тяговых машин: Тематич. сб. научн. трудов. - Челябинск: ЧГТУ, 1996.

Издательство Челябинского
государственного технического университета

ДР № 020364 от 10.04.97. Подписано в печать 07.05.97. Формат
60x84 1/16. Печать офсетная. Усл.печ. л. 1,16. Уч.-изд.л. 1.
Тираж 100 экз. Заказ 151/190.

УСП издательства. 454080, г. Челябинск, пр. им. В.И. Ленина, 76.