

ТЕХНИЧЕСКИЙ СЕРВИС В АПК

ОРИГИНАЛЬНАЯ СТАТЬЯ

УДК 621.436

<https://doi.org/10.26897/2687-1149-2026-4-66-73>**Исследование управляющего воздействия
на процесс очистки деталей от загрязнений
в ультразвуковом поле****В.М. Корнеев^{1✉}, Д.И. Петровский², И.Н. Кравченко³, Н.В. Корнеев⁴**^{1,2,3} Российский государственный аграрный университет – МСХА имени К.А. Тимирязева; г. Москва, Россия⁴ Федеральный научный агроинженерный центр ВИМ; г. Москва, Россия¹ tsmo@rgau-msha.ru ✉; <https://orcid.org/0000-0002-8945-9875>² petrovsky@rgau-msha.ru; <https://orcid.org/0000-0001-8162-1789>³ kravchenko-in@rgau-msha.ru; <https://orcid.org/0000-0002-1826-3648>⁴ swy16@mail.ru; <https://orcid.org/0000-0001-8405-1195>

Аннотация. В ремонтном производстве процесс очистки деталей двигателя от нагара осложнен в связи с высокой степенью адгезии нагароотложений к поверхности деталей и устойчивостью их к воздействию моющей жидкости. Исследования проведены с целью обоснования способа удаления нагароотложений и установления оптимального режима очистки выпускных клапанов газораспределительного механизма двигателя. Нагароотложения целесообразно удалять с помощью акустической кавитации. Это связано с тем, что кавитация сопровождается образованием гидродинамических микроударов, под воздействием которых углеродистые отложения разрушаются. Эксперимент по очистке выпускных клапанов газораспределительного механизма двигателя провели в ультразвуковой ванне ODA-DS100. Активность акустической кавитации измеряли кавитометром. Влияние параметров технологического режима очистки – таких, как концентрация моющего средства, температура моющего раствора и продолжительность очистки, на эффективность удаления нагара определяли при последовательном изменении их значений. Качество очистки, оцениваемое по остаточной загрязненности (г/см^2), определяемой весовым способом, приняли в качестве критерия оптимальности. Так, качество очистки определяли при концентрации моющего средства Контраст-107 в растворе 10, 20, 30, 40, 50 г/л, температуре моющего раствора 40, 50, 60, 70, 80°C и продолжительности очистки 5, 10, 15, 20, 25 мин. Отметим, что наибольшая активность кавитации достигнута при частоте колебаний 25 кГц. Установили оптимальный режим очистки выпускных клапанов: концентрация моющего средства – 20 г/л, температура моющего раствора – 60°C, продолжительность очистки – 15 мин. Управлять процессом очистки деталей можно посредством изменения частоты ультразвуковых колебаний, концентрации моющего средства и температуры моющего раствора. В дальнейших исследованиях можно изучить влияние на качество очистки геометрической формы детали.

Ключевые слова: процесс очистки деталей; нагар; загрязнения; активность акустической кавитации; качество очистки; режим очистки; концентрация моющего средства; температура моющего раствора; продолжительность очистки

Для цитирования: Корнеев В.М., Петровский Д.И., Кравченко И.Н., Корнеев Н.В. Исследование управляющего воздействия на процесс очистки деталей от загрязнений в ультразвуковом поле // Агроинженерия. 2026. Т. 28, № 4. С. 66-73. <https://doi.org/10.26897/2687-1149-2026-4-66-73>

ORIGINAL ARTICLE

Research on the possibility of controlling the cleaning process of parts in an ultrasonic field

V.M. Korneev¹✉, D.I. Petrovsky², I.N. Kravchenko³, N.V. Korneev⁴

^{1, 2, 3} Russian State Agrarian University – Moscow Timiryazev Agricultural Academy; Moscow, Russia

⁴ Federal Scientific Agroengineering Center VIM; Moscow, Russia

¹ tsmo@rgau-msha.ru✉; <https://orcid.org/0000-0002-8945-9875>

² petrovsky@rgau-msha.ru; <https://orcid.org/0000-0001-8162-1789>

³ kravchenko-in@rgau-msha.ru; <https://orcid.org/0000-0002-1826-3648>

⁴ swy16@mail.ru; <https://orcid.org/0000-0001-8405-1195>

Abstract. In repair production, cleaning engine parts from carbon deposits presents a significant challenge due to the high adhesion of carbonaceous residues to component surfaces and their low susceptibility to detergent solutions. The study aimed to justify a method for carbon deposit removal and to establish an optimal cleaning mode for exhaust valves in engine valve gear. Acoustic cavitation is a good solution for carbon deposit removal, as it generates hydrodynamic micro-impacts that effectively disintegrate carbonaceous deposits. The authors conducted experiments on cleaning exhaust valves in an ODA-DS100 ultrasonic bath, with cavitation activity measured using a cavitometer. The influence of key process parameters – detergent concentration, solution temperature, and cleaning duration – on carbon removal efficiency was assessed by sequentially varying each parameter. Cleaning quality, evaluated by residual contamination (g/cm²) determined gravimetrically, was adopted as the optimality criterion. Specifically, cleaning performance was examined at Kontrast-107 detergent concentrations of 10, 20, 30, 40, and 50 g/L; solution temperatures of 40, 50, 60, 70, and 80°C; and cleaning durations of 5, 10, 15, 20, and 25 minutes. The highest cavitation activity was observed at an oscillation frequency of 25 kHz. The following cleaning mode was identified as optimal for exhaust valves: detergent concentration of 20 g/L, solution temperature of 60°C, and cleaning duration of 15 minutes. The cleaning process can be controlled by adjusting the ultrasonic frequency, detergent concentration, and solution temperature. Future research may explore the influence of component geometry on cleaning efficiency.

Keywords: cleaning of machine parts; carbon deposits; contamination; acoustic cavitation activity; cleaning quality; cleaning mode; detergent concentration; cleaning solution temperature; cleaning duration

For citation: Korneev V.M., Petrovsky D.I., Kravchenko I.N., Korneev N.V. Research on the possibility of controlling the cleaning process of parts in an ultrasonic field. *Agricultural Engineering (Moscow)*. 2026;28(4):66-73. (In Russ.). <https://doi.org/10.26897/2687-1149-2026-4-66-73>

Введение

Сельскохозяйственная техника, поступающая в ремонт, имеет на поверхностях деталей разнообразные загрязнения, различающиеся по условиям формирования и физико-механическим свойствам. Загрязнения являются причиной снижения производительности труда и культуры производства, точности измерительного контроля геометрических параметров деталей при их дефектации, интенсивного износа рабочих поверхностей деталей при их приработке и ресурса отремонтированных агрегатов. Таким образом, высокая степень очистки деталей необходима для качественного ремонта машин. Под термином «очистка» понимается процесс удаления с наружных и внутренних поверхностей деталей эксплуатационных и технологических загрязнений до регламентированного уровня их чистоты [1-3].

Исследованиями установлено, что наиболее трудноудаляемыми загрязнениями являются нагары

и асфальтосмолистые отложения [4-6]. Нагары представляют собой углеродистые вещества, откладывающиеся на стенках камер сгорания головки цилиндров, клапанах, днищах поршней, свечах зажигания, распылителях форсунок, выпускных трубопроводах. Эти загрязнения обладают высокой механической прочностью и большой степенью адгезии к очищаемой поверхности детали. Асфальтосмолистые отложения являются продуктами окисления и полимеризации топливно-смазочных материалов. Они образуются на стенках картеров, щеках коленчатых валов, распределительных шестернях, масляных насосах, фильтрах и маслопроводах. Поскольку эти загрязнения характеризуются высокой поверхностной активностью и прочно удерживаются на поверхности, выбор способа очистки должен базироваться на дифференцированном подходе к каждому изделию с учетом его конструктивных особенностей, геометрических параметров, вида и характера загрязнений.

Известно, что наиболее перспективным и ресурсосберегающим способом очистки деталей от прочных загрязнений является применение ультразвука [7, 8]. Ультразвуковой способ очистки металлических поверхностей позволяет удалять загрязнения с деталей сложной конфигурации, из труднодоступных полостей и каналов [9, 10]. Однако высокий интерес вызывает определение оптимального режима ультразвуковой очистки при удалении нагароотложений, образующихся на поверхностях деталей двигателей внутреннего сгорания под воздействием высоких температур на топливо-смазочные материалы.

Цель исследований: обоснование выбора способа удаления углеродистых отложений и оптимального режима очистки клапанов газораспределительного механизма двигателя

Материалы и методы

Ультразвуковая очистка заключается в воздействии на моющий раствор механических колебаний с частотой более 20 кГц при удельной акустической мощности 2...3 Вт/см², приводящих к образованию кавитации. Акустическая кавитация представляет собой физический процесс образования пузырьков (пустот) в жидких средах с последующим их схлопыванием и высвобождением большого количества энергии [11, 12].

Общеизвестно, что необходимым условием эффективности ультразвуковой очистки в моющей жидкости является создание в ней кавитационного процесса, возникающего при превышении интенсивности ультразвуковых колебаний определенного значения.

Рассмотрим механизм возникновения явления кавитации на поверхностях очищаемых деталей, помещенных в ванну с моющим раствором. При воздействии на жидкость ультразвуковых колебаний в ней образуются упругие волны. При распространении продольных волн в жидкости образуются области сжатия и разрежения, чередующиеся с ультразвуковой частотой. При разрежении жидкость не выдерживает созданного ультразвуком напряжения. Силы, действующие на молекулы, начинают превышать силы межмолекулярного сцепления, и жидкость разрывается. В местах разрывов возникает множество мельчайших пузырьков, наполненных парами жидкости и растворенными в ней газами. Кавитационные пузырьки, попадая в область высокого давления жидкости (область сжатия), схлопываются с образованием ударных волн, характеризующихся большими значениями давления, температуры и скорости. Под действием гидравлических ударов загрязнения

на поверхности детали разрушаются и удаляются вместе с моющим раствором [12].

Кроме кавитации, существенное влияние на процесс ультразвуковой очистки оказывают звукокапиллярный эффект, акустические течения и звуковое давление. Звукокапиллярный эффект способствует проникновению моющей жидкости в микротрещины или микропоры частиц загрязнений, обеспечивая при этом нарушение связей между ними. Акустические течения жидкости образуют вихревые гидродинамические потоки, осуществляющие процесс отделения и удаления загрязняющих веществ. С повышением звукового давления возрастает количество кавитационных пузырьков в объеме жидкости и увеличивает концентрация кавитационных областей [13].

Таким образом, эффективность ультразвуковой очистки в моющей жидкости зависит как от оптимального значения частоты колебаний, так и от оптимизации параметров технологического режима очистки. В связи с этим при обосновании оптимального режима очистки следует учитывать конструктивные характеристики очищаемых деталей, вид и свойства загрязнения, химическую активность моющей жидкости.

Проверку научной гипотезы о возможности управления процессом ультразвуковой очистки, оптимизации его применительно к объекту очистки и виду загрязнения проводили на экспериментальной установке, схема которой представлена на рисунке 1.

Для изучения активности акустической кавитации использовали ультразвуковую ванну ODA-DS100 размером 300 x 240 x 150 мм с аналоговым управлением и рабочим объемом 10 л. Ванна снабжена четырьмя пьезоэлектрическими излучателями 2 с суммарной ультразвуковой мощностью 320 Вт. Рабочая частота ультразвуковых колебаний – 37 кГц. В ультразвуковой ванне 3 высокочастотные электрические колебания с генератора 1 подаются на пьезокерамический преобразователь, который преобразует их в упругие механические колебания. Под воздействием ультразвуковых колебаний в моющей жидкости возникает кавитационный процесс. В эксперименте активность кавитации измеряли кавитометром 4 (рис. 1).

Объект очистки – клапаны газораспределительного механизма двигателя Д-243, имеющие на рабочих поверхностях головок углеродистые отложения (нагар). Нагар характеризуется высокой механической прочностью и степенью адгезии к металлической поверхности детали. Выбор объекта обусловлен негативным влиянием загрязненных клапанов на работоспособность механизма газораспределения и двигателя в целом. Клапаны двигателя, загрязненные углеродистыми отложениями, неплотно прилегают

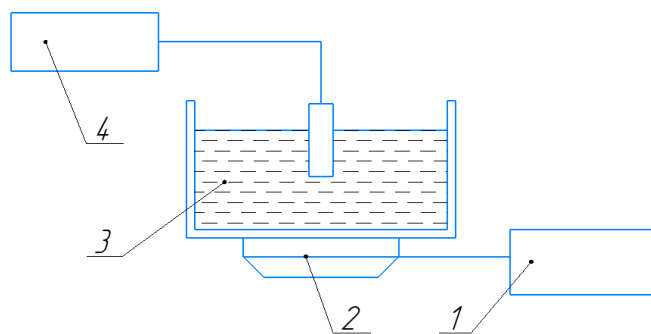


Рис. 1. Схема экспериментальной установки:

1 – ультразвуковой генератор; 2 – пьезокерамический излучатель; 3 – ванна с моющим раствором; 4 – кавитометр

Fig. 1. Experimental installation diagram:

1 – ultrasonic generator; 2 – piezoceramic emitter; 3 – bath with cleaning solution; 4 – cavitation meter

к клапанным гнездам. При этом нарушается процесс смесеобразования в камерах сгорания, что приводит к падению мощности двигателя, неравномерной его работе и неполному сгоранию топлива. В этой связи задача достижения нормативной степени чистоты поверхности клапанов после их очистки при ремонте двигателя имеет большое практическое значение.

Эксперимент проводили на пяти выпускных клапанах двигателя Д-243 для каждого значения исследуемого параметра.

Каждый клапан взвешивали трижды до очистки и после нее, результаты усреднялись. Статистическая обработка включала в себя расчет среднего значения и стандартного отклонения (не более 5%). Эксплуатационная наработка клапанов составляла 4000...6000 моточасов, что соответствует типичным для ремонтного производства загрязнениям.

Исследованиями в области повышения эффективности ультразвуковой очистки установлена зависимость кинетики процесса удаления загрязнений в ультразвуковом поле от вида применяемого моющего средства и технологического режима очистки [14, 15].

Для удаления нагара применяли техническое моющее средство «Контраст-107» производства НПП ООО «Щебекинская индустриальная химия», рекомендуемое производителем для удаления углеродистых отложений.

Процесс очистки деталей характеризуется следующими технологическими параметрами: частота ультразвуковых колебаний; концентрация моющего средства в растворе; температура моющего раствора; продолжительность процесса очистки [16].

В результате предыдущих исследований [16, 17] и предварительных опытов установлено, что при концентрации менее 10 г/л и более 50 г/л, температуре

ниже 40°C и выше 80°C, а также времени менее 5 мин и более 25 мин эффективность очистки не достигает удовлетворительных значений (составляет менее 40%). С учетом вышесказанного и рекомендаций производителя моющего средства эксперимент проводили при концентрации моющего средства в растворе 10, 20, 30, 40, 50 г/л, температуре моющего раствора 40, 50, 60, 70, 80°C, продолжительности очистки 5, 10, 15, 20, 25 мин.

Предварительно взвешенные на лабораторных весах МАССА ВК-300.1 клапаны помещали в пластиковую сетчатую корзину в горизонтальном положении. Корзину погружали в ванну с моющим раствором и проводили очистку.

После очистки на исследуемом режиме клапаны снова взвешивали. Эффективность очистки оценивали величиной остаточной загрязненности (мг/см²) на поверхности клапана, которую определяли по формуле:

$$K_{\text{ост}} = \frac{m_1 - m_2}{S},$$

где m_1 – масса клапана до очистки, мг; m_2 – масса клапана после очистки, мг; S – площадь очищаемой поверхности клапана, см².

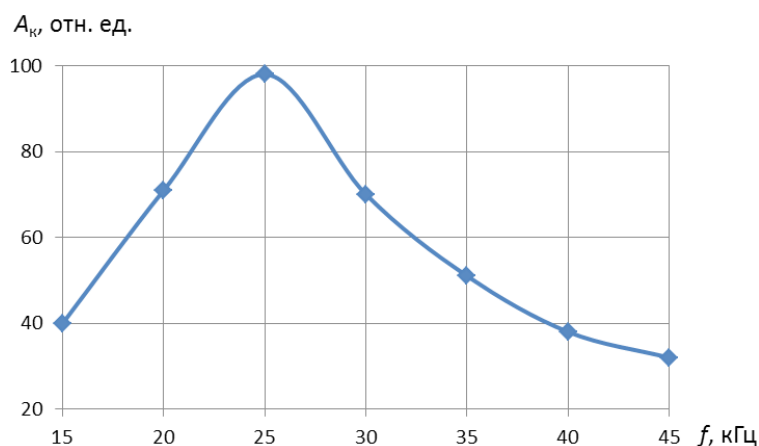
Метод оценки ультразвуковой очистки основан на спектральном анализе кавитационного шума. Акустический сигнал, генерируемый кавитационным шумом, фиксируется датчиком кавитометра и преобразуется в электрический сигнал, который в свою очередь обрабатывается электронным блоком. Значение активности кавитации выводится на индикатор.

Из ремонтной практики известно, что для очистки сильно загрязненных деталей более предпочтительным является применение ультразвуковых колебаний с частотой 15...40 кГц [17]. Оптимальное значение частоты колебаний, соответствующее максимальному уровню активности акустической кавитации, определяли с помощью кавитометра ICA-4D [18].

Результаты и их обсуждение

Экспериментально исследована активность акустической кавитации в зависимости от частоты колебаний (рис. 2).

Установлено, что максимальная активность кавитации возникала на частоте 25 кГц. Полученное значение использовали в качестве рабочей частоты при исследовании влияния концентрации моющего средства, температуры моющего раствора и времени кавитационного воздействия моющей жидкости на качество очистки загрязненных поверхностей клапанов.

Рис. 2. Зависимость активности кавитации A_k от частоты колебаний f Fig. 2. Relationship between cavitation activity A_k and oscillation frequency f

Производительность и качество ультразвуковой очистки зависят от химической активности моющего раствора (концентрации моющего средства). Согласно рекомендациям производителя концентрация водного раствора технического моющего средства «Контраст-107» для разнообразных видов загрязнений должна составлять 5...50 г/л. Однако эти рекомендации не учитывают характера загрязнений. Применительно к очистке клапанов от нагара минимальная остаточная загрязненность ($0,2 \text{ мг/см}^2$) достигается при концентрации моющего средства 20 г/л (рис. 3). Эта концентрация и принята за оптимальное значение.

С увеличением концентрации моющего средства выше 20 г/л качество очистки ухудшается ввиду снижения химического взаимодействия моющего раствора с загрязнением вследствие повышенного пенообразования.

Неоднозначное влияние на эффективность ультразвуковой очистки оказывает температура моющего раствора. На рисунке 4 приведена зависимость качества очистки, характеризуемой остаточной

загрязненностью, от температуры моющего раствора концентрацией 20 г/л. Наименьшая остаточная загрязненность наблюдается при температуре 60°C ($0,14 \text{ мг/см}^2$). При температуре 50°C значение отличается менее чем на 5%, что находится в пределах погрешности измерений, поэтому в качестве оптимального рекомендован диапазон $50\ldots 60^\circ\text{C}$.

Как следует из приведенной зависимости (рис. 4), наилучшее моющее действие проявляется при температуре раствора $50\ldots 60^\circ\text{C}$. Характер зависимости свидетельствует о том, что при снижении температуры раствора ($\leq 60^\circ\text{C}$) ухудшается его моющая способность вследствие замедления химических реакций. С повышением температуры выше 60°C уменьшается кавитационное давление, поскольку при этом повышается упругость внутри кавитационной полости, что приводит к снижению интенсивности кавитационного воздействия моющей жидкости на загрязнение.

Продолжительность очистки t является параметром, определяющим эффективность удаления загрязнений. Недостаточное время контактирования

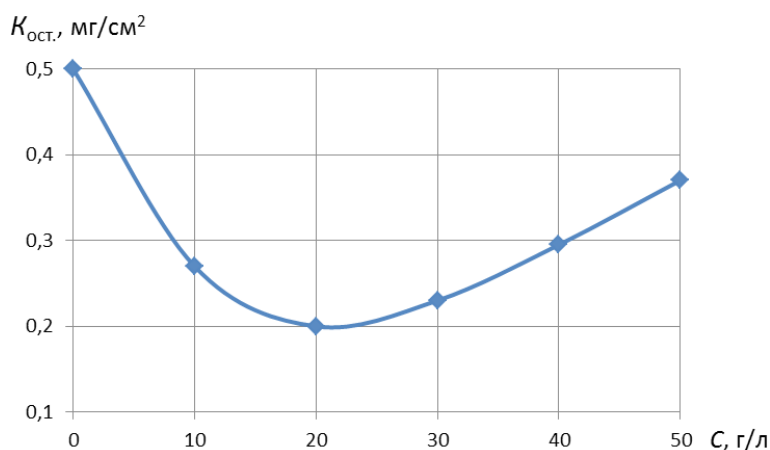


Рис. 3. Зависимость качества очистки от концентрации моющего средства в растворе

Fig. 3. Relationship between the cleaning quality and the detergent concentration in the solution

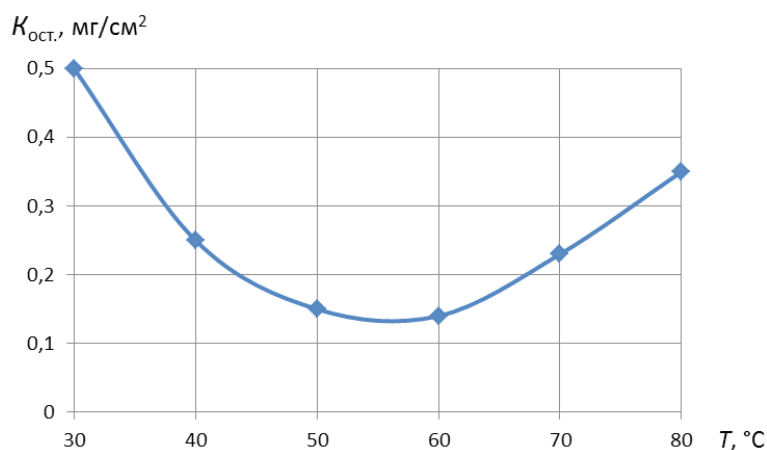


Рис. 4. Зависимость качества очистки от температуры моющей жидкости

Fig. 4. Relationship between the cleaning quality and the temperature of the cleaning liquid

моющей жидкости с очищаемой деталью приводит к неполной очистке. Увеличение времени пребывания деталей в очистке повышает энергоемкость процесса без существенного улучшения результатов.

Минимальная остаточная загрязненность ($0,11 \text{ мг/см}^2$) достигается при 15 мин очистки, что принято за оптимальное время (рис. 5).

Таким образом, на основании результатов экспериментальных исследований определен оптимальный режим очистки клапанов от нагароотложений для моющего средства «Контраст-107»: частота ультразвуковых колебаний – 25 кГц; концентрация моющего средства – 20 г/л; температура моющего раствора – $50 \dots 60^\circ\text{C}$; продолжительность очистки – 15 мин.

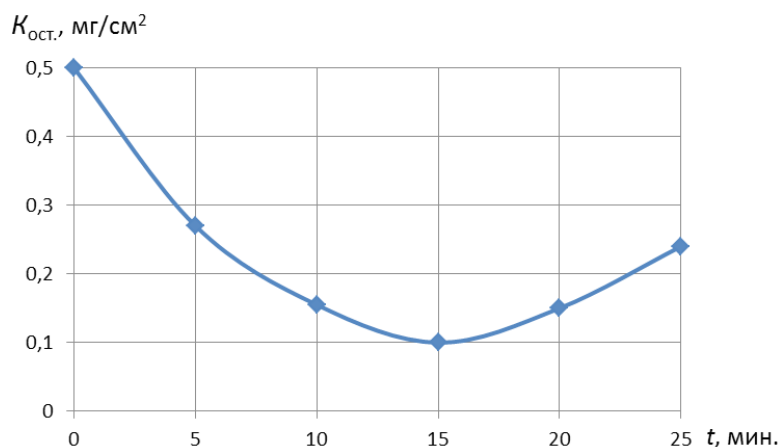


Рис. 5. Зависимость качества очистки от продолжительности процесса

Fig. 5. Relationship between the cleaning quality and the process duration

Выводы

1. Очистку выпускных клапанов газораспределительного механизма двигателя целесообразно проводить в условиях акустической кавитации.

2. Максимальная активность акустической кавитации в моющей жидкости «Контраст-107» достигается при частоте ультразвуковых колебаний 25 кГц.

3. Оптимальный технологический режим очистки клапанов в ультразвуковом поле: частота колебаний – 25 кГц; продолжительность очистки – 15 мин;

температура моющего раствора – $50 \dots 60^\circ\text{C}$; концентрация моющего средства – 20 г/л.

4. Изменением параметров – таких, как частота ультразвуковых колебаний, концентрация моющего средства и температура моющего раствора, можно управлять процессом очистки деталей.

5. Дополнительные исследования будут посвящены изучению влияния на качество очистки геометрической формы детали.

Список источников

1. Фадеев И.В., Степанова Е.И., Воронов В.П., Полищук С.Д. Анализ способов очистки и мойки поверхностей деталей в процессе ремонта агрегатов автотракторной техники // Вестник Рязанского государственного агротехнологического университета им. П.А. Костычева. 2022. Т. 14, № 2. С. 183-192. EDN: IUYZQM
2. Мирутко В.В., Семин Е.В., Гуль А.С. Совершенствование технологии очистки двигателя и его деталей при ремонте // Механизация и электрификация сельского хозяйства. 2018. № 51. С. 243-249. EDN: NTUHMД
3. Быков В.В., Загородских Б.П., Садетдинов Ш.В., Юдин В.М. Повышение эффективности мойки деталей при ремонте автомобилей // Известия Нижневолжского агроуниверситетского комплекса: наука и высшее профессиональное образование. 2019. № 1. С. 358-363. EDN: CBPDMV
4. Томилов А.В., Ломовских А.Е., Свиридов А.А., Вигдорович В.И. Способ безразборной очистки поверхностей деталей цилиндропоршневой группы от нагара в двигателях внутреннего сгорания // Научные технологии. 2019. Т. 20, № 4. С. 49-54. EDN: NJLROL
5. Ходяков П.С., Балажегитов Ж.А., Керученко Л.С., Союнов А.С. Технологии и способы очистки двигателей от нагароотложений // Научное и техническое обеспечение АПК, состояние и перспективы развития: Сборник IV Международной научно-практической конференции. Омск: Омский государственный аграрный университет им. П.А. Столыпина, 2020. С. 425-429. EDN: SCZCQN
6. Север А.В., Ломовских А.Е. Технология безразборной очистки деталей кривошипно-шатунного и газораспределительного механизмов от нагароотложений в тракторных двигателях // Вестник науки. 2023. Т. 3, № 12. С. 1299-1304. <https://www.vestnik-nauki.rf/article/11796>. EDN: ONEFJD
7. Сарсенгалиев А.М., Бекренёв Н.В. Научная технология с использованием ультразвука при очистке труднодоступных поверхностей деталей сложной формы // Научные технологии в машиностроении. 2017. № 12. С. 29-35. EDN: YLFNWI
8. Приходько В.М., Казанцев В.Ф., Карагодин В.И. и др. Особенности высокоамплитудной ультразвуковой очистки деталей // Вестник Брянского государственного технического университета. 2019. № 12. С. 76-81. <https://doi.org/10.30987/1999-8775-2019-2019-12-76-81>
9. Громаковский Д.Г., Шигин С.В. Опыт применения кавитации для мойки деталей // Динамика и виброакустика. 2018. Т. 4, № 2. С. 6-11. <https://doi.org/10.18287/2409-4579-2018-4-2-6-11>
10. Радзюк А.Ю., Истягина Е.Б., Кулагина Л.В. и др. Синтез-анализ использования кавитационных технологий // Журнал Сибирского федерального университета. Серия «Техника и технологии». 2022. Т. 15, № 7. С. 774-801. EDN: RSKFGM
11. Котухов А.В., Гаврилюк В.С., Минчук В.С., Дежкунов Н.В. Инновационный метод исследования акустической кавитации // Доклады Белорусского государственного университета информатики и радиоэлектроники. 2020. Т. 18, № 4. С. 80-88. <https://doi.org/10.35596/1729-7648-2020-18-4-80-88>
12. Гаврилюк В.С., Дежкунов Н.В., Котухов А.В. и др. Исследование акустической кавитации: результаты, практическая реализация и перспективы развития // Доклады Белорусского государственного университета информатики и радиоэлектроники. 2024. Т. 22, № 2. С. 92-104. <https://doi.org/10.35596/1729-7648-2024-22-2-92-104>
13. Толочко Н.К., Челединов А.Н., Ланин В.Л. Закономерности распределения активности кавитации в ультразвуковой ванне // Доклады Белорусского государственного

References

1. Fadeev I.V., Stepanova E.I., Voronov V.P., Polishchuk S.D. Analysis of environmental cleaning and washing of affected parts in the process of repairing units of automotive and tractor equipment. *Bulletin of the Ryazan State Agrotechnological University named after P.A. Kostychev*. 2022;14(2):183-192. (In Russ.)
2. Mirutko V.V., Siomin E.V., Gul A.S. Improvement of technology of cleaning of engine and parts during repair. *Mekhanizatsiya i elektrifikatsiya selskogo khozyaystva*. 2018;51:243-249. (In Russ.)
3. Bykov V.V., Zagorodskikh B.P., Sadetdinov Sh.V., Yudin V.M. Increase the efficiency of washing details during repairing cars. *Proceedings of Lower Volga Agro-University Complex: Science and Higher Education*. 2019;1:358-363. (In Russ.)
4. Tomilov A.A., Lomovskikh A.E., Sviridov A.A., Vigdorovich V.I. Means of cylinder-piston blocks workpiece surfaces cleaning-in-place from carbon in the internal combustion engine. *Science Intensive Technologies*. 2019;20(4):49-54. (In Russ.)
5. Khodyakov P., Balazhegiov Zh., Keruchenko L., Soyunov A. Technologies and methods for cleaning engines from carbon deposits. *Nauchnoe i tekhnicheskoe obespechenie APK, sostoyanie i perspektivy razvitiya*. Proceedings of the IV International Scientific and Practical Conference. Omsk: Omsk State Agrarian University named after P.A. Stolypin. 2020. P. 425-429. (In Russ.)
6. Sever A.V., Lomovskikh A.E. Technology of non-selective cleaning of parts of crank and gas distribution mechanisms from carbon deposits in engines. *Science Bulletin*. 2023;3(12):1299-1304 (In Russ.)
7. Sarsengaliyev A.M., Bekrenyov N.V. Science intensive technology with ultrasound use at hard-to-reach surface refinement in complex parts. *Science Intensive Technologies in Mechanical Engineering*. 2017;12:29-35. (In Russ.)
8. Prihod'ko V.M., Kazancev V.F., Karagodin V.I. et al. Peculiarities of high-amplitude ultrasonic cleaning of parts. *Bulletin of Bryansk State Technical University*. 2019;12:76-81. (In Russ.) <https://doi.org/10.30987/1999-8775-2019-2019-12-76-81>
9. Gromakovskiy D.G., Shigin S.V. The experience of use of cavitation for washing of parts. *Journal of Dynamics and Vibroacoustics*. 2018;4(2):6-11. <https://doi.org/10.18287/2409-4579-2018-4-2-6-11>
10. Radzyuk A.Yu., Istyagina E.B., Kulagina L.V. et al. Synthesis-analysis of the use of cavitation technologies. *Journal of Siberian Federal University. Engineering and Technologies*. 2022;15(7):774-801. (In Russ.)
11. Kotukhov A.V., Gavriluk V.S., Minchuk V.S., Dezhkunov N.V. Combined method for acoustic cavitation research. *Doklady BGUIR*. 2020;18(4):80-88. (In Russ.) <https://doi.org/10.35596/1729-7648-2020-18-4-80-88>
12. Gavriluk V.S., Dezhkunov N.V., Kotukhov A.V. et al. Research of Acoustic Cavitation: Results, Practical Implementation and Development Prospects. *Doklady BGUIR*. 2024;22(2):92-104. (In Russ.) <https://doi.org/10.35596/1729-7648-2024-22-2-92-104>
13. Tolochko N.K., Cheledinov A.N., Lanin V.L. Regularities of distribution activity of cavitation in ultrasound bath. *Doklady BGUIR*. 2018;3:88-93. (In Russ.)
14. Nigmatzyanov R.I., Kazantsev V.F., Prihodko V.M. et al. Increasing the efficiency of ultrasonic liquid treatment by activating the energy of cavitation clusters. *STIN*. 2019;3:19-23. (In Russ.)
15. Didmanidze O.N., Petrik D.Yu. Analysis of the efficiency of implemented ultrasonic cleaning technology for agricultural machinery parts. *Machinery and Equipment for Rural Area*. 2025;7:37-38. (In Russ.) <https://doi.org/10.33267/2072-9642-2025-7-37-38>
16. Petrik D.Y., Korneev V.M., Petrik V.Y. The factors of intensification of parts cleaning processes in submerged

университета информатики и радиоэлектроники. 2018. № 3. С. 88-93. EDN: XPUUFN

14. Нигметзянов Р.И., Казанцев В.Ф., Приходько В.М. и др. Повышение эффективности ультразвуковой жидкостной обработки путем активации энергии кавитационных кластеров // СТИН. 2019. № 3. С. 19-23. EDN: ZCQEXB

15. Дидманидзе О.Н., Петрик Д.Ю. Анализ эффективности внедрения технологии ультразвуковой очистки деталей сельскохозяйственной техники // Техника и оборудования для села. 2025. № 7. С. 37-38. <https://doi.org/10.33267/2072-9642-2025-7-37-38>

16. Петрик Д.Ю., Корнеев В.М., Петрик В.Ю. Факторы интенсификации процессов очистки деталей в погружных моечных машинах (на примере ультразвукового метода очистки) // Международный научно-исследовательский журнал. 2023. № 1. <https://doi.org/10.23670/IRJ.2023.127.24>

17. Корнеев В.М., Петровский Д.И., Корнеев Н.В. Интенсификация процесса погружной очистки деталей ультразвуковыми колебаниями // Агроинженерия. 2025. Т. 27, № 5. С. 54-60. <https://doi.org/10.26897/2687-1149-2025-5-54-60>

18. Дежкунов Н., Ланин В.Л., Ковальчук А. Ультразвуковая очистка в технологии электроники // Технологии в электронной промышленности. 2017. № 1. С. 44-48. EDN: YJYHTB

Информация об авторах

¹ Корнеев Виктор Михайлович, канд. техн. наук, доцент; tsmo@rgau-msha.ru; <https://orcid.org/0000-0002-8945-9875>; SPIN-код: 5464-0703

² Петровский Дмитрий Иванович, канд. техн. наук, доцент; petrovsky@rgau-msha.ru; <https://orcid.org/0000-0001-8162-1789>; SPIN-код: 5948-9799

³ Кравченко Игорь Николаевич, д-р техн. наук, профессор; kravchenko-in@rgau-msha.ru; <https://orcid.org/0000-0002-1826-3648>; SPIN-код: 8272-6031

⁴ Корнеев Николай Викторович, аспирант; swy16@mail.ru; <https://orcid.org/0000-0001-8405-1195>

^{1, 2, 3} Российский государственный аграрный университет – МСХА имени К.А. Тимирязева; 127434, Российская Федерация, г. Москва, ул. Тимирязевская, 49

⁴ Федеральный научный агроинженерный центр ВИМ; 109428, Российская Федерация, г. Москва, пр-д 1-й Институтский, 5

Вклад авторов

В.М. Корнеев – научное руководство, создание черновика рукописи, концептуализация, методология;
Д.И. Петровский – ресурсы, формальный анализ;
И.Н. Кравченко – создание окончательной версии (доработка) рукописи и ее редактирование;
Н.В. Корнеев – формальный анализ, администрирование данных.

Статья поступила 23.03.2026; после рецензирования и доработки 09.06.2026; принята к публикации 03.07.2026

washing machines (on the example of ultrasonic cleaning method). *International Research Journal*. 2023;1:101. (In Russ.) <https://doi.org/10.23670/IRJ.2023.127.24>

17. Korneev V.M., Petrovsky D.I., Korneev N.V. Intensification of submersion cleaning of parts using ultrasonic oscillations. *Agricultural Engineering (Moscow)*. 2025;27(5):54-60 (In Russ.) <https://doi.org/10.26897/2687-1149-2025-5-54-60>

18. Dezhkunov N., Lanin V.L., Kovalchuk A. Ultrasonic cleaning in electronics technology. *Tekhnologii v elektronnoy promyshlennosti*. 2017;1:44-48. (In Russ.)

Author Information

Viktor M. Korneev¹, CSc (Eng), Associate Professor; tsmo@rgau-msha.ru; <https://orcid.org/0000-0002-8945-9875>

Dmitry I. Petrovskiy², CSc (Eng), Associate Professor; petrovsky@rgau-msha.ru; <https://orcid.org/0000-0001-8162-1789>

Igor N. Kravchenko³, DSc (Eng), Professor; kravchenko-in@rgau-msha.ru; <https://orcid.org/0000-0002-1826-3648>; ResearcherID: B-9463-2018

Nikolay V. Korneev⁴, postgraduate student; swy16@mail.ru; <https://orcid.org/0000-0001-8405-1195>

^{1, 2, 3} Russian State Agrarian University – Moscow Timiryazev Agricultural Academy; 127434, Russian Federation, Moscow; 49, Timiryazevskaya Str.

⁴ Federal Scientific Agroengineering Centre VIM; 109428, Russian Federation, Moscow; 5, 1st Institutskiy Proezd Str.

Author Contribution

V.M. Korneev – research supervision; writing – original draft; conceptualization; methodology;
D.I. Petrovsky – resources; formal analysis;
I.N. Kravchenko – writing – review and editing of the manuscript;
N.V. Korneev – formal analysis; data curation.

Received 23.03.2026; Revised 09.06.2026; Accepted 03.07.2026