

ТЕХНИЧЕСКИЙ СЕРВИС В АПК

ОРИГИНАЛЬНАЯ СТАТЬЯ

УДК 621.7.024:62-2

<https://doi.org/10.26897/2687-1149-2025-5-54-60>



Интенсификация процесса погружной очистки деталей ультразвуковыми колебаниями

В.М. Корнеев^{1✉}, Д.И. Петровский², Н.В. Корнеев³

^{1,2} Российский государственный аграрный университет – МСХА имени К.А. Тимирязева; г. Москва, Россия

³ Федеральный научный агроинженерный центр ВИМ; г. Москва, Россия

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

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

³ swy16@mail.ru; <https://orcid.org/0000-0001-8405-1195>

Аннотация. Интенсификация процесса погружной очистки деталей зависит от физико-химической активности моющей жидкости и силы механического воздействия жидкости на очищаемую поверхность. Перспективным способом интенсификации погружной очистки является создание в потоке моющей жидкости ультразвуковых колебаний. Исследования проведены с целью обоснования целесообразности применения ультразвука для интенсификации процесса погружной очистки деталей и определения оптимальных значений параметров технологического режима процесса интенсифицированной очистки. Очистку проводили в погружной моечной машине, представляющей собой ванну с вращающейся в моющем растворе корзиной, оснащенной двумя погружными источниками ультразвука, закрепленными на ее стенках. В качестве объекта очистки использовали сетчатые фильтрующие элементы гидравлических систем, имеющие на рабочей поверхности масляно-грязевые загрязнения. Для очистки фильтрующих элементов применяли водный раствор технического моющего средства Лабомид-203. Экспериментальные исследования влияния параметров и режимов процесса очистки на его эффективность проводили при температуре моющего раствора 40, 50, 60 и 70°C, концентрации моющего средства в растворе 5, 10, 15 и 20 г/л, продолжительности очистки 2, 4, 6, 8, 10, 12 и 14 мин, частоте ультразвуковых колебаний 15, 20, 25, 30 и 35 кГц, интенсивности ультразвуковых колебаний 1, 2, 3 и 4 Вт/см². Качество очистки фильтрующих элементов от загрязнений оценивали весовым методом. Экспериментально определили оптимальные значения параметров технологического режима процесса интенсифицированной очистки фильтрующих элементов: частота колебаний – 30 кГц, интенсивность колебаний – 3 Вт/см², концентрация моющего средства в растворе – 14...17 г/л, температура моющего раствора – 50...55°C, продолжительность очистки – 10 мин. Нами подтверждена целесообразность применения ультразвука для активации моющей жидкости при интенсификации погружной очистки.

Ключевые слова: интенсификация процесса погружной очистки; загрязнения; ультразвук; частота колебаний; интенсивность колебаний; концентрация моющего средства; температура моющего раствора; продолжительность очистки; эффективность очистки

Для цитирования: 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>

ORIGINAL ARTICLE

Intensification of submersion cleaning of parts using ultrasonic oscillations

V.M. Korneev¹✉, D.I. Petrovsky², N.V. Korneev³^{1,2} Russian State Agrarian University – Moscow Timiryazev Agricultural Academy; Moscow, Russia³ Federal Scientific Agroengineering Center VIM; Moscow, Russia¹ tsmo@rgau-msha.ru; <https://orcid.org/0000-0002-8945-9875>² petrovsky@rgau-msha.ru; <https://orcid.org/0000-0001-8162-1789>³ swy16@mail.ru; <https://orcid.org/0000-0001-8405-1195>

Abstract. The intensification of the submersion cleaning process of parts depends on the physicochemical activity of the cleaning fluid and the mechanical force of the fluid's impact on the surface being cleaned. A promising method for intensifying submersion cleaning is to produce ultrasonic oscillations in the flow of cleaning fluid. The authors conducted research to justify the feasibility of using ultrasound to intensify the submersion cleaning process of parts and to determine the optimal values of the technological parameters of the intensified process. The cleaning process was carried out in a submersion washing machine, which is a tank with a basket rotating in the cleaning solution, equipped with two submersion-type ultrasound sources attached to its walls. Mesh filtering elements of hydraulic systems, having oil-and-dirt contamination on their working surface, were used as the cleaning object. An aqueous solution of the technical detergent Labomid-203 was used to clean the filtering elements. Experimental studies were carried out at the following parameters: cleaning solution temperature of 40, 50, 60 and 70°C; detergent concentration in the solution of 5, 10, 15 and 20 g/l; cleaning duration of 2, 4, 6, 8, 10, 12 and 14 min; ultrasonic oscillation frequency of 15, 20, 25, 30 and 35 kHz, and ultrasonic oscillation intensity of 1, 2, 3 and 4 W/cm². To assess the cleaning quality of the filtering elements from contamination, use was made of a weighing method. The optimal values of the technological parameters of the intensified cleaning of filtering elements were experimentally determined: oscillation frequency – 30 kHz, oscillation intensity – 3 W/cm², detergent concentration in the solution – 14 to 17 g/l, cleaning solution temperature – 50 to 55°C, cleaning duration – 10 min. The study confirmed the feasibility of using ultrasound to activate the cleaning fluid when intensifying submersion cleaning.

Keywords: intensification of submersion cleaning; contamination; ultrasound; oscillation frequency; oscillation intensity; detergent concentration; cleaning solution temperature; cleaning duration; cleaning effectiveness

For citation: 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>

Введение

Анализ способов очистки показал, что для удаления прочно связанных загрязнений с поверхностей деталей со сложной конфигурацией рекомендуется использовать ультразвуковую очистку. Сущность этого способа очистки заключается в механическом воздействии на загрязненную поверхность деталей кавитационных пузырьков, образующихся в моющей жидкости под действием ультразвуковых колебаний. При схлопывании кавитационных пузырьков возникают ударные волны, под действием которых загрязнения разрушаются, а затем и удаляются непрерывным потоком жидкости [1, 2].

Процесс ультразвуковой очистки обусловлен рядом явлений, возникающих в моющей среде: акустической кавитацией, акустическими течениями, звуковым давлением и звукокапиллярным эффектом. Перечисленные явления в свою очередь определяются такими контролируемыми в процессе очистки параметрами ультразвукового поля, как частота

колебаний, интенсивность ультразвуковых колебаний и статическое давление [3, 4].

В настоящее время ультразвуковая очистка широко применяется во многих отраслях промышленности. Однако в ремонтном производстве ее применение ограничивается недостаточной изученностью воздействующих факторов и отсутствием критериев обоснованного выбора оптимальных режимов и параметров процесса [5, 6].

Практика показывает, что выбор параметров ультразвукового поля определяется видом и свойствами загрязнения. Так, слабо связанные с поверхностью загрязнения удаляются под воздействием пульсирующих (несхлопывающихся) кавитационных пузырьков и акустических течений. И наоборот, прочно связанные с поверхностью загрязнения удаляются под действием кавитационной эрозии в результате микроударного воздействия схлопывающихся кавитационных пузырьков. Эффективность ультразвуковой очистки повышается при оптимальном соотношении

между параметрами ультразвукового поля. Таким образом, исследование погружной очистки при интенсификации процесса ультразвуковыми колебаниями имеет научную и практическую направленность [7, 8].

Цель исследований: обоснование целесообразности применения ультразвука для интенсификации процесса погружной очистки деталей; определение оптимальных значений параметров технологического режима процесса интенсифицированной очистки.

Материалы и методы

Теоретические исследования по обоснованию возможности интенсификации процесса погружной очистки созданием в моющей жидкости ультразвуковых колебаний основывались на работах в области акустической кавитации.

Для изучения влияния кавитационных явлений на эффективность удаления загрязнений использовалась погружная моечная машина, реализующая воздействие ультразвука на моющую жидкость (рис. 1).

Принцип работы экспериментальной установки для исследования процесса интенсифицированной очистки заключается в следующем. Объекты, подлежащие очистке, закрепляют в сетчатой корзине в вертикальном положении. Корзина вращается в моющем растворе относительно двух ультразвуковых излучателей, закрепленных на стенках ванны. При этом турбулентному потоку моющей жидкости сообщается дополнительная энергия в виде ультразвуковых

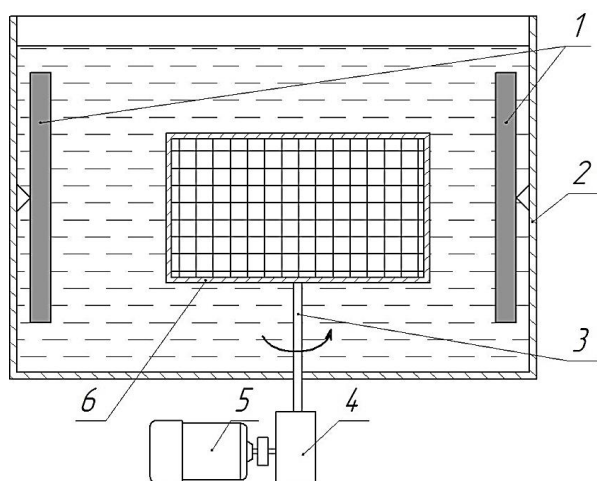


Рис. 1. Схема экспериментальной установки:

- 1 – ультразвуковые излучатели погружного типа;
- 2 – ванна с моющей жидкостью; 3 – ось;
- 4 – редуктор; 5 – электродвигатель; 6 – корзина сетчатая

Fig. 1. Schematic diagram of the experimental installation:

- 1 – submersion-type ultrasonic emitters;
- 2 – tank with cleaning fluid; 3 – axis; 4 – gearbox;
- 5 – electric motor; 6 – mesh basket

колебаний, вызывающих кавитационные явления, сопровождающиеся значительным местным повышением давления и температуры жидкости. Таким образом, создаются наиболее эффективные условия для взаимодействия моющей жидкости с частицами загрязнений: ультразвуковые колебания способствуют эффективному отрыву частиц загрязнений, а поток моющей жидкости – их удалению.

Для генерирования высокочастотных ультразвуковых колебаний в ванне с моющей жидкостью использовали модуль ПСБ-150×150.50-35, состоящий из излучателя 1 и генератора 3 (рис. 2).

Объектом очистки являлись сетчатые фильтрующие элементы гидравлических систем, имеющие на металлической поверхности масляно-грязевые загрязнения. Количество очищенных фильтрующих элементов – 480 шт.

Для удаления масляно-грязевых загрязнений в погружной машине применяли водный раствор технического моющего средства Лабомид-203 на основе синтетических поверхностно-активных веществ.

Эксперименты проводили при температуре моющего раствора 40, 50, 60 и 70°C, концентрации моющего средства в растворе 5, 10, 15 и 20 г/л, продолжительности очистки 2, 4, 6, 8, 10, 12 и 14 мин, частоте ультразвуковых колебаний 15, 20, 25, 30 и 35 кГц, интенсивности ультразвуковых колебаний 1, 2, 3 и 4 Вт/см².

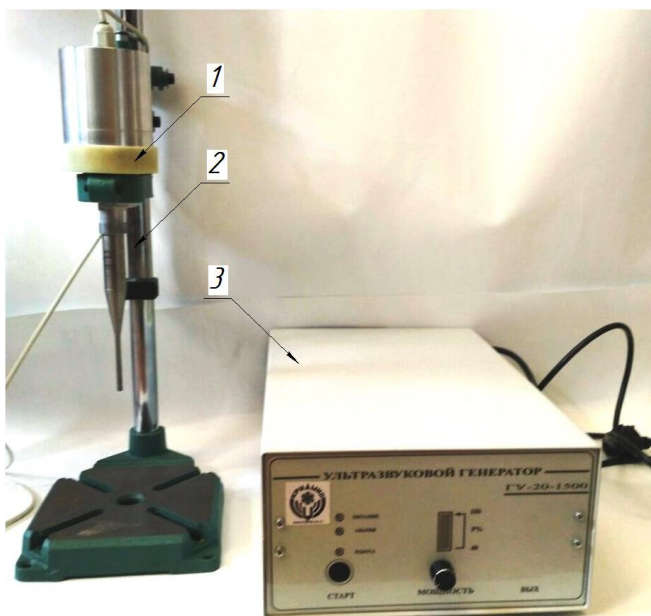


Рис. 2. Схема погружного ультразвукового излучателя:

- 1 – ультразвуковой излучатель; 2 – держатель;
- 3 – ультразвуковой генератор

Fig. 2. Schematic diagram of the submersion ultrasonic emitter:

- 1 – ultrasonic emitter; 2 – holder; 3 – ultrasonic generator

В экспериментальном исследовании определяли оптимальные значения параметров технологического режима погружной очистки при интенсификации процесса за счет воздействия ультразвука на моющую жидкость.

Для контроля качества очистки использовали весовой метод. По истечении фиксированного времени очистки определенного технологического режима выполняли оценку количества остаточного загрязнения. В качестве показателя эффективности очистки при исследуемом режиме принимали отношение количества остаточного загрязнения к его первоначальному количеству:

$$K = \frac{m_{\text{ост}}}{m_{\text{исх}}} \cdot 100\%, \quad (1)$$

где $m_{\text{ост}}$ – масса загрязнения на поверхности фильтрующего элемента после очистки, г; $m_{\text{исх}}$ – масса загрязнения на поверхности фильтрующего элемента до очистки, г.

Взвешивание фильтрующих элементов производили на весах «Sartorius MP-8» (электронные – 1 класс точности) с ценой показания 0,001 г.

Результаты и их обсуждение

Теоретические исследования показали, что эффективность ультразвуковой очистки зависит от параметров ультразвукового поля, ультразвуковых явлений и физико-химических свойств моющей жидкости (рис. 3).

При этом установлено, что частота колебаний определяет интенсивность микроударного воздействия схлопывающихся кавитационных пузырьков. Увеличение частоты приводит к уменьшению радиуса парогазового пузырька. В результате снижаются потенциальная энергия давления и глубина проникновения кумулятивных струй моющей жидкости в слой загрязнений. При низких частотах создаются благоприятные условия для возникновения кавитационных явлений, сопровождающихся значительным местным повышением давления и температуры жидкости. Проводить ультразвуковую очистку на низких частотах следует в случае необходимости удаления прочно связанных загрязнений. Исходя из вышеизложенного рекомендуется оптимальный диапазон частоты ультразвуковых колебаний 20...50 кГц. При увеличении амплитуды колебаний от 2 до 30 мкм продолжительность очистки в водных растворах синтетических моющих средств снижается в 3...3,5 раза.

Эффективное воздействие на процессы отрыва загрязнений от очищаемой поверхности и их переноса потоком моющей жидкости из зоны очистки оказывает интенсивность ультразвуковых колебаний.

Так, повышение интенсивности ультразвука приводит к возникновению пульсирующих (несхлопывающихся) кавитационных пузырьков. При малых значениях интенсивности снижается активность ультразвуковых явлений. Выявлено, что удаление слабо связанных загрязнений без примесей органических веществ достигается при интенсивности 1...3 Вт/см², а удаление слабо связанных загрязнений с примесью органических веществ – при 3...10 Вт/см². Прочно связанные загрязнения рекомендуется удалять при интенсивности свыше 10 Вт/см².

Повышение статического давления до определенных значений позволяет создать оптимальные условия для удаления загрязнений за счет максимальной кавитационной активности. Однако необходимо принимать меры по ограничению роста гидростатического давления во избежание образования каверн на металлической поверхности очищаемой детали, являющихся результатом кавитационной эрозии, вызываемой местными гидравлическими ударами жидкости.

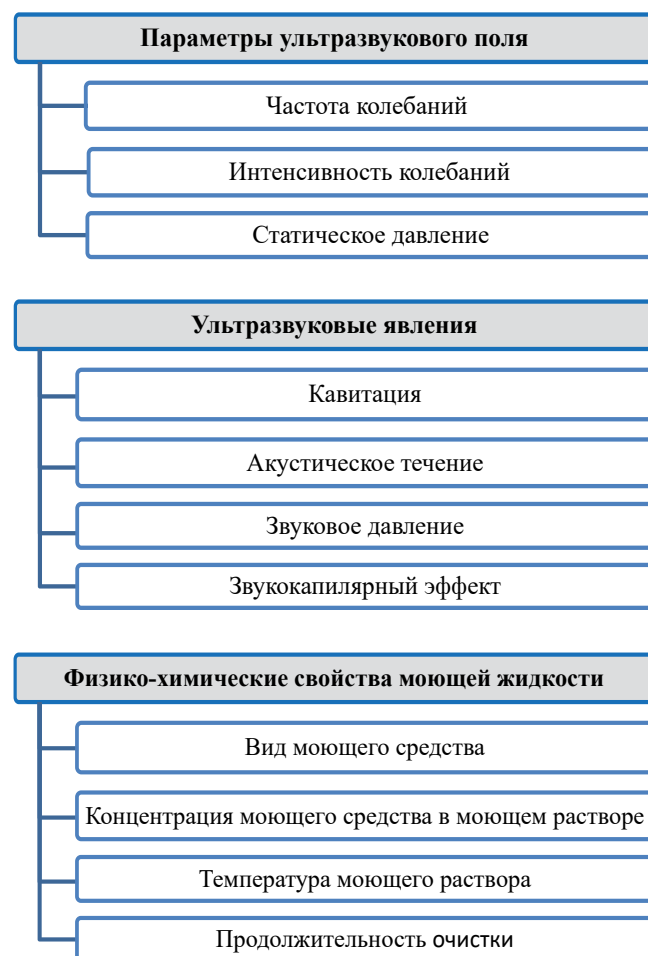


Рис. 3. Факторы, влияющие на эффективность ультразвуковой очистки
Fig. 3. Factors affecting the effectiveness of ultrasonic cleaning

Эффективность очистки деталей при воздействии ультразвука также зависит от физико-химических свойств моющих жидкостей. При выборе моющих средств следует иметь в виду, что органические растворители имеют высокую упругость парогазовых пузырьков и тем самым снижают эффективность механизма моющего действия в ультразвуковом поле.

В качестве моющей жидкости рекомендуется использовать водные растворы щелочных синтетических моющих средств, обладающих низким давлением насыщенных паров и лучшими кавитационными свойствами.

На интенсивность ультразвуковой очистки влияет температура моющей жидкости. Выявлено, что повышение температуры целесообразно лишь до некоторого значения, а затем начинается уменьшение эффективности удаления загрязнений. Это объясняется тем, что при повышении температуры моющей жидкости возрастает давление паровых кавитационных пузырьков и уменьшается сила локальных гидроударов в процессе их схлопывания.

В результате теоретического исследования показана целесообразность инициирования в моющей жидкости ультразвуковых колебаний для интенсификации процесса погружной очистки деталей. При этом необходимо отметить, что эффективность удаления загрязнений с поверхностей деталей в условиях турбулентного режима движения моющей жидкости и воздействия на нее ультразвука определяется технологическим режимом процесса очистки. Под режимом очистки понимается совокупность параметров, характеризующих условия протекания процесса. К параметрам технологического режима, обеспечивающим эффективный отрыв частиц загрязнений от очищаемых поверхностей и их перевод в поток жидкости, относятся величина частоты и интенсивности ультразвуковых колебаний, концентрация моющего средства в растворе, температура моющего раствора и продолжительность процесса очистки.

На первом этапе экспериментальных исследований мы определяли оптимальные значения параметров ультразвукового поля, характеризующих интенсивность кавитационных явлений.

Очистку фильтрующих элементов проводили при температуре раствора 60°C и концентрации моющего средства (Лабомид-203) в растворе 30 г/л в течение 8 мин. График зависимости качества очистки от величины частоты ультразвуковых колебаний приведен на рисунке 4.

На рисунке 5 показана зависимость качества очистки от величины интенсивности ультразвуковых колебаний.

Исходя из данных, представленных на рисунках 4 и 5, установили наибольшую эффективность очистки при частоте колебаний 30 кГц и интенсивности 3 Вт/см².

Таким образом, определили оптимальные значения параметров ультразвукового поля, при которых на втором этапе эксперимента исследовали параметры, характеризующие технологический режим комбинированной очистки (концентрация моющего средства, температура моющего раствора и продолжительность очистки).

По результатам выполненных исследований установили, что при температуре раствора 60°C , концентрации Лабомид-203 в растворе 14...17 г/л и продолжительности процесса 8 мин обеспечивается эффективный отрыв частиц загрязнений от очищаемых поверхностей фильтрующих элементов (рис. 6).

Оптимальный диапазон температуры моющей жидкости составил $50...55^{\circ}\text{C}$ (рис. 7).

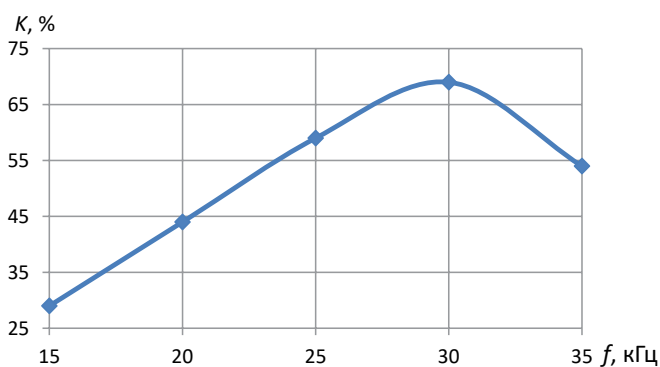


Рис. 4. Качество очистки в зависимости от величины частоты ультразвуковых колебаний
(режим очистки: $t = 8$ мин; $T = 60^{\circ}\text{C}$; $C = 30$ г/л)

Fig. 4. Cleaning quality as a function of the ultrasonic oscillation frequency
(cleaning mode: $t = 8$ min; $T = 60^{\circ}\text{C}$; $C = 30$ g/l)

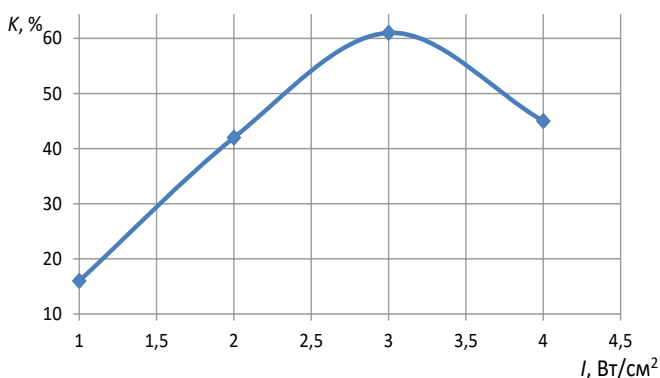


Рис. 5. Качество очистки в зависимости от величины интенсивности ультразвуковых колебаний
(режим очистки: $t = 8$ мин; $T = 60^{\circ}\text{C}$; $C = 30$ г/л)

Fig. 5. Cleaning quality as a function of the ultrasonic oscillation intensity
(cleaning mode: $t = 8$ min; $T = 60^{\circ}\text{C}$; $C = 30$ g/l)

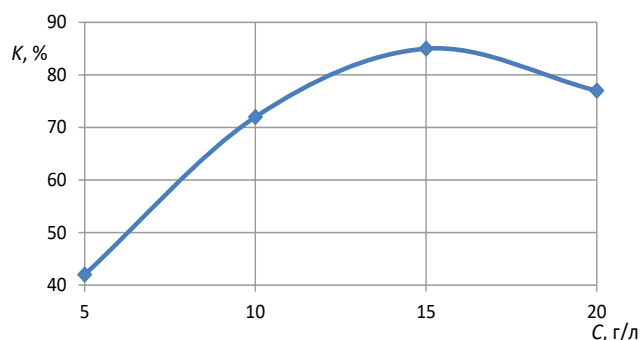


Рис. 6. Влияние концентрации моющего средства в растворе на качество очистки
(режим очистки: $t = 8$ мин; $T = 60^\circ\text{C}$)

Fig. 6. Influence of detergent concentration in the solution on the cleaning quality
(cleaning mode: $t = 8$ min; $T = 60^\circ\text{C}$)

С повышением температуры моющего средства выше 55°C эффективность очистки снижается. Это объясняется тем, что с повышением температуры жидкости возрастает упругость пара, что снижает кинетическую энергию кавитационных пузырьков и мощность микровзрывов при их схлопывании.

Исследовали интенсивность удаления частиц загрязнений с поверхности сетчатых фильтрующих элементов, характеризуемой временем их очистки. Оптимальное значение продолжительности очистки составило 10 мин (рис. 8).

Проведенные исследования показали, что очистка фильтрующих элементов в погружной машине с использованием ультразвуковых колебаний в жидкости является эффективным способом интенсификации процесса.

Управлять эффективностью процесса очистки можно путем подбора параметров ультразвукового поля и параметров технологического режима.

Выводы

1. Интенсификация процесса погружной очистки обеспечивается при оптимальных параметрах

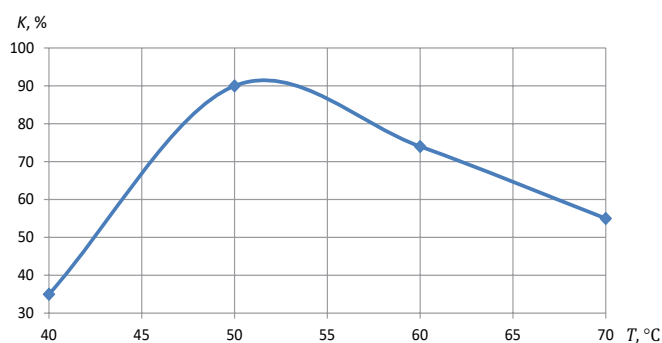


Рис. 7. Влияние температуры моющего раствора на качество очистки
(режим очистки: $t = 8$ мин; $C = 15$ г/л)

Fig. 7. Influence of cleaning solution temperature on the cleaning quality
(cleaning mode: $t = 8$ min; $C = 15$ g/l)

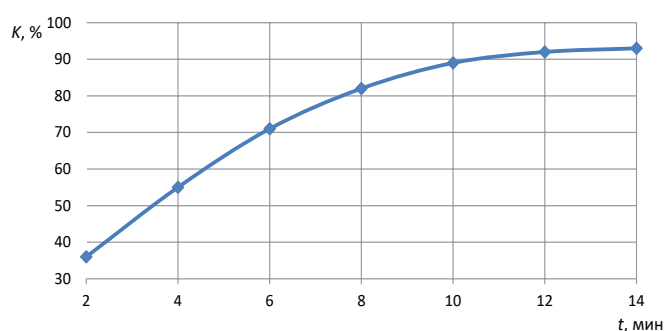


Рис. 8. Влияние продолжительности очистки на ее качество
(режим очистки: $T = 50^\circ\text{C}$; $C = 15$ г/л)

Fig. 8. Influence of cleaning duration on its quality
(cleaning mode: $T = 50^\circ\text{C}$; $C = 15$ g/l)

ультраузового поля, концентрации и температуры моющего раствора и продолжительности процесса.

2. Оптимальными значениями параметров технологического режима процесса интенсифицированной очистки сетчатых фильтрующих элементов являются частота ультразвуковых колебаний 30 кГц, интенсивность ультразвуковых колебаний 3 Вт/см², концентрация моющего средства в растворе 14...17 г/л, температура моющего раствора 50...55°C, продолжительность очистки 10 мин.

Список источников

1. Приходько В.М., Нигметзянов Р.И., Фатюхин Д.С. и др. Ультразвуковая очистка. Состояние и перспективы // Научные технологии в машиностроении. 2022. № 1. С. 21-28. <https://doi.org/10.30987/2223-4608-2022-1-21-28>
2. Котухов А.В., Гаврилюк В.С., Минчук В.С., Дежкун 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>
3. Бутько А.С., Шмаков М.С. Удаление загрязнений анилоксных валов ультразвуковым методом в присутствии поверхностно-активных веществ // Труды

References

1. Prikhodko V.M., Nigmatzyanov R.I., Fatyukhin D.S. et al. Ultrasonic cleaning. Status and prospects. *Science Intensive Technologies in Mechanical Engineering*. 2022;1:21-28. (In Russ.). <https://doi.org/10.30987/2223-4608-2022-1-21-28>
2. Kotukhov A.V., Gavrilyuk 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>
3. Butsko S.A., Shmakov M.S. Removal of contaminated anilox rolls ultrasonic methods in the presence of surface-active substances. *Proceedings of BSTU. Is . Print- and Mediatechnologies*. 2018;1:20-29. (In Russ.)

Белорусского государственного технологического университета. Серия 4 «Принт- и медиатехнологии». 2018. № 1. С. 20-29. EDN: XQDELB

4. Приходько В.М., Симонов Д.С. Применение ультразвука для очистки от загрязнений ответственных деталей автотракторной техники // Автомобиль. Дорога. Инфраструктура. 2018. № 3 (17). С. 4. EDN: VAKLZI

5. Жарова В.Д. Применение ультразвуковых технологий при очистке изделий // Science Time. 2019. № 12. С. 68-72. EDN: JNBBDK

6. Петрик Д.Ю., Корнеев В.М., Петрик В.Ю. Интенсификация процесса очистки деталей в погружных моечных машинах // Агроинженерия. 2022. Т. 24, № 5. С. 73-77. <https://doi.org/10.26897/2687-1149-2022-5-73-77>

7. Петрик Д.Ю., Корнеев В.М., Петрик В.Ю. Определение оптимальных технологических параметров процесса очистки деталей в погружных моечных машинах // Агроинженерия. 2023. Т. 25, № 4. С. 81-84. <https://doi.org/10.26897/2687-1149-2023-4-81-84>

8. 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 (127). <https://doi.org/10.23670/IRJ.2023.127.24>

Информация об авторах

¹ Корнеев Виктор Михайлович, канд. техн. наук, доцент; tsmo@rgau-msha.ru; SPIN-код: 5464-0703

² Петровский Дмитрий Иванович, канд. техн. наук, доцент; petrovsky@rgau-msha.ru; SPIN-код: 5948-9799

³ Корнеев Николай Викторович, аспирант; swy16@mail.ru

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

³ Федеральный научный агроинженерный центр ВИМ; 109428, Российская Федерация, г. Москва, пр-д 1-й Институтский, 5

Вклад авторов

В.М. Корнеев – научное руководство, формулирование основных направлений исследований, формулировка общих выводов; Д.И. Петровский – формулировка общих выводов, анализ литературы, обработка результатов исследований; Н.В. Корнеев – обработка результатов исследований, подготовка рукописи.

Статья поступила в редакцию 14.04.2025; поступила после рецензирования и доработки 04.09.2025; принята к публикации 05.09.2025

4. Prikhodko V.M., Simonov D.S. Application of ultrasound for cleaning from pollution of responsible parts of autotractor engineering. *Avtomobil. Doroga. Infrastruktura*. 2018;3:4. (In Russ.)

5. Zharova V.D. Application of Ultrasonic Technologies in Parts Cleaning. *Science Time*. 2019;12:68-72. (In Russ.)

6. Petrik D.Yu., Korneev V.M., Petrik V.Yu. Intensifying the process of cleaning parts in submersible washing machines. *Agricultural Engineering (Moscow)*. 2022;24(5):73-77. (In Russ.) <https://doi.org/10.26897/2687-1149-2022-5-73-77>

7. Petrik D.Yu., Korneev V.M., Petrik V.Yu. Determining the optimum technological parameters of cleaning parts in submersible washing machines. *Agricultural Engineering (Moscow)*. 2023;25(4):81-84. (In Russ.) <https://doi.org/10.26897/2687-1149-2023-4-81-84>

8. Petrik D.Y., Korneev V.M., Petrik V.Y. The factors of intensification of parts cleaning processes in submerged washing machines (On the example of ultrasonic cleaning method). *International Research Journal*. 2023;1(127). (In Russ.) <https://doi.org/10.23670/IRJ.2023.127.24>

Author Information

Viktor M. Korneev¹, CSc (Eng), Associate Professor; tsmo@rgau-msha.ru

Dmitry I. Petrovskiy², CSc (Eng), Associate Professor; petrovsky@rgau-msha.ru

Nikolay V. Korneev³, postgraduate student; swy16@mail.ru

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

³ Federal Scientific Agroengineering Centre VIM; 109428, Russian Federation, Moscow, 5, 1st Institutskiy Proezd Str.

Author Contribution

V.M. Korneev – research supervision, conceptualization, general conclusions; D.I. Petrovskiy – general conclusions, literature review, data curation, processing of research results; N.V. Korneev – processing of research results, writing – original draft preparation

Received 14.04.2025; Revised 04.09.2025; Accepted 05.09.2025