

ОРИГИНАЛЬНАЯ СТАТЬЯ

УДК 621

DOI: 10.26897/2687-1149-2023-4-81-84

**Определение оптимальных технологических параметров процесса очистки деталей в погружных моечных машинах****Петрик Дмитрий Юрьевич**[✉], аспирант¹petrick.dmitry2016@yandex.ru[✉]**Корнеев Виктор Михайлович**, канд. техн. наук, доцент¹

tsmo@rgau-msha.ru

Петрик Владислав Юрьевич, студент²

mrpetryke@gmail.com

¹ Российский государственный аграрный университет – МСХА имени К.А. Тимирязева; 127550, Российская Федерация, г. Москва, ул. Тимирязевская, 49² Московский колледж транспорта; 129626, Российская Федерация, г. Москва, Кучин пер., 14

Аннотация. Очистка и мойка загрязнённых поверхностей деталей машин являются актуальными при ремонтном производстве. Повышение эффективности процесса очистки металлических деталей возможно при использовании комбинации погружного, струйного и ультразвукового методов. Многообразие конструкций моющих машин и установок, использующих разные методы очистки, требует определения оптимальных технологических параметров и режимов процесса, а также выявления эффективного моющего раствора. С этой целью проведен эксперимент относительно процесса очистки металлических деталей от остатков смазочно-охлаждающих жидкостей (СОЖ) в погружных моечных машинах с применением ультразвуковых колебаний. Для очистки металлических деталей от остатков СОЖ исследовались растворы димера, лабонида и кальцинированной соды. Для интенсификации процесса мойки металлических деталей использовалась ультразвуковая установка УЗДН-А с постоянной частотой колебаний. Степень очищения металлических деталей оценивалась отношением массы загрязнителя, удаленного с ее поверхности, к его начальной массе (в процентах). Полученные математические модели степени очистки металлических деталей (для марок конструкционных углеродистых сталей и цветных металлов) от СОЖ позволили определить оптимальные технологические параметры: концентрация моющих растворов – 15...20%; рабочая температура для димера – 20...30°C, для лабонида – 70...80°C, для кальцинированной соды – 80...90°C. Установлено, что наиболее энергоэффективным и безопасным моющим раствором является димер, а применение лабонида при ультразвуковом очищении нецелесообразно ввиду его повышенного пенообразования. Также установлено, что время мытья (нахождение металлических деталей в машине) и количество масла на поверхности металлических деталей существенно не влияют на степень очистки.

Ключевые слова: ультразвуковая очистка, эффективность, интенсификация, критерии, оптимизация, загрязнение, поверхность отклика

Формат цитирования: 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>.

© Петрик Д.Ю., Корнеев В.М., Петрик В.Ю., 2023

ORIGINAL ARTICLE

Determining the optimum technological parameters of cleaning parts in submersible washing machines**Dmitry Yu. Petrik**[✉], PhD studentpetrick.dmitry2016@yandex.ru[✉]**Viktor M. Korneev**, CSc (Eng), Associate Professor

tsmo@rgau-msha.ru

Vladislav Yu. Petrik, student²

mrpetryke@gmail.com

¹ Russian State Agrarian University – Moscow Timiryazev Agricultural Academy; 49, Timiryazevskaya Str., Moscow, 127434, Russian Federation² Moscow College of Transport; 14, Kuchin Lane, Moscow, 129626, Russian Federation

Abstract. Cleaning and washing contaminated surfaces of machine parts is relevant in the repair industry. Improving the efficiency of the process of cleaning metal parts is possible using a combination of submersible, jet and ultrasonic

methods. The variety of designs of washing machines and installations using different cleaning methods requires the determination of optimal technological parameters and process modes, as well as the identification of an effective washing solution. For this purpose, an experiment was carried out on the process of cleaning metal parts from the remnants of cutting fluids (coolants) in submersible washing machines using ultrasonic vibrations. Solutions of dimer, labomid, and soda ash were studied to clean metal parts from coolant residues. To intensify the process of washing metal parts, an ultrasonic unit UZDN-A with a constant oscillation frequency was used. The degree of purification of metal parts was estimated by the ratio of the mass of the pollutant removed from its surface to its initial mass, in percent. The obtained mathematical models of the degree of cleaning of metal parts (for grades of structural carbon steels and non-ferrous metals) from coolant made it possible to determine the optimal technological parameters: concentration of cleaning solutions 15 to 20%; working temperature for dimer – 20 to 30°C, for labomid – 70 to 80°C, for soda ash – 80 to 90°C. It has been established that the most energy-efficient and safe cleaning solution is a dimer, and the use of labomid for ultrasonic cleaning is not advisable due to its increased foaming. It was also found that the time of washing (the presence of metal parts in the machine) and the amount of oil on the surface of metal parts do not significantly affect the degree of cleaning.

Keywords: ultrasonic cleaning, efficiency, intensification, criteria, optimization, contamination, response surface

For citation: 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 Rus.). <https://doi.org/10.26897/2687-1149-2023-4-81-84>.

Введение. К традиционным способам очистки металлических поверхностей относят метод погружения, очистку струей растворителя, электролитическую очистку, электрогидравлическую очистку, ультразвуковую очистку, пневмо-абразивную (с использованием электрокорунда, гранул CO₂, гидрокарбоната натрия).

Наиболее распространенным способом удаления загрязнений с поверхности является очистка методом погружения в емкости с моющими растворами [1]. При этом в качестве моющих растворов используются смеси поверхностно-активных веществ, различных растворителей, слабые растворы щелочей и кислот, бензин и керосин. Эффективность очистки повышается при перемешивании моющего раствора. Недостатками этого способа является использование большого объема легколетучих веществ, опасных для окружающей среды и здоровья людей.

Анализ зарубежной литературы [2, 3] показывает, что несмотря на пожароопасность нехлорированных углеводородных растворителей (KW), их использование постоянно увеличивается за счет усовершенствования оборудования, в котором интенсификация процессов очистки и обезжиривания происходит с помощью ультразвука, флотации и вакуумной сушки. В этом случае KW могут заменять хлорированные углеводородные растворители при использовании их методов [4].

При ультразвуковом способе очистки в качестве моющих составляющих применяют органические растворители, а также водные растворы моющих веществ. К недостаткам ультразвуковых установок, помимо их высокой энергоемкости и сложности оборудования, следует отнести применение различных видов растворителей, которые токсичными отходами могут отрицательно влиять на здоровье человека и окружающую среду [4].

При использовании струйного метода очистки механический фактор проявляется как удар струи на загрязнения, приводящий к их разрушению и вымыванию. Повышение давления воды с 2,5 до 15 МПа при удалении внешних загрязнений приводит к увеличению производительности процесса очистки до 20 раз, к снижению энергозатрат в 4 раза и расходу воды в 10 раз.

Авторами [4-8] отмечаются существенные недостатки перечисленных методов, среди которых – относительно большие расходы материалов, значительная энергоемкость, комплексное негативное влияние на окружающую среду и здоровье человека.

Уникальные возможности вибрационного поля позволяют успешно осуществлять не только отделочно-зачистную и укрепляющую операции, но и такие операции, как очистка и мойка деталей машин.

В настоящее время существует много различных конструкций моющих машин и установок, использующих разные методы очистки или их комбинации, но все они имеют некоторые недостатки. На основании анализа способов очистки металлических деталей в машине для мытья [9, 10] установлено, что для повышения эффективности данного процесса целесообразно использовать комбинацию погружного, струйного и ультразвукового методов.

Цель исследований: определение оптимальных технологических параметров, режимов процесса очистки и эффективного моющего раствора, обеспечивающих очистку деталей в погружных моечных машинах с применением ультразвуковых колебаний.

Материалы и методы. Для интенсификации процесса мойки металлических деталей использовалась ультразвуковая установка УЗДН-А с постоянной частотой колебаний.

В качестве смазочно-охлаждающих жидкостей (СОЖ) использовали масло-И20 и водную эмульсию ЭТ-2. Методика выбора моющего раствора включала в себя оценку нескольких параметров: длительность очистки металлических поверхностей от масляных и водных смазочно-охлаждающих жидкостей; способность к переработке и регенерации; коррозионное воздействие на объект очистки; стойкость раствора; цена и стойкость к пенообразованию.

Для очистки металлических деталей от остатков СОЖ применены 3 моющих раствора:

– димер – высококонцентрированное щелочное моющее вещество, используемое для мойки автомобильного транспорта;

– лабомид – комплексное соединение активных веществ на основе солей, применяемое для очистки узлов и деталей (двигатель, редуктор и др.);

– раствор кальцинированной соды.

Экспериментальные исследования моющей среды проводились следующим образом. В раствор погружалась порция металлических деталей, загрязненных маслом-И20 или водными охлаждающими жидкостями на основе эмульсии ЭТ-2, и интенсивно перемешивалась. Партия ежеминутно извлекалась из раствора, высушивалась путем продувания теплым воздухом и взвешивалась на электронных весах. Опыты повторялись несколько раз при постоянной температуре и изменении концентрации моющего раствора.

Степень очищения металлических деталей оценивается отношением (в процентах) массы загрязнителя, удаленного с ее поверхности, к его начальной массе.

С целью исследования влияния температуры и концентрации моющего раствора, а также времени мытья на степень очистки металлических деталей из углеродистой стали в машинах, использующих ультразвуковой метод очистки, был применен метод планирования многофакторного эксперимента.

Уровни варьирования факторов составляли: концентрация моющего раствора – 5%; температура моющего раствора – 10°C; время мытья – 1 мин; содержание масла на металлических деталях – 1%. Границы варьирования составляли: концентрация моющего раствора – 0...40%; температура моющего раствора – 20...100°C; время мытья – 1-10 мин; содержание масла на металлических деталях – 1...10%.

При проведении эксперимента и построении модели степени очистки металлических деталей моющими растворами применялся метод ортогонального центрального композиционного планирования. При обработке полученных результатов использовались методы математической статистики программного комплекса STATISTICA 10.

Результаты и их обсуждение. Планирование научного эксперимента позволяет не получить

математическую модель изучаемого процесса, а лишь эффективно оценить коэффициенты математической модели, выбранной на основании информации о процессе. Выбранная математическая модель отражает связь между параметрами процесса, включенными в рассмотрение, и в общем виде представляется функцией многих переменных:

$$Y = f(X_1, X_2, \dots, X_n). \quad (1)$$

Для построения математической модели приняты следующие обозначения:

Y – степень очистки;

X₁ – концентрация моющего раствора;

X₂ – температура моющего раствора;

X₃ – содержание масла на металлических деталях;

X₄ – время мытья.

Стандартная модель включает в себя линейную и нелинейную комбинации факторов. После оценки результатов экспериментальных и расчетных данных по модели мы установили, что целесообразно использовать нелинейную комбинацию факторов. Предполагается, что данная модель будет использована в дальнейшем моделировании физических процессов в предложенной машине. Упрощение математических зависимостей позволяет создать более надежные методики расчета при проектировании моющих машин.

Получены математические модели степени очистки металлических деталей для моющего раствора на основе димера в зависимости от следующих параметров:

– от температуры раствора X₂ и его концентрации X₁:

$$Y_1 = 68,0027 + 3,734X_1 - 0,4333X_2 - 0,0748X_1^2 + 0,0015X_1X_2 + 0,046X_2^2; \quad (2)$$

– от содержания масла на металлических деталях X₃ и концентрации раствора X₁:

$$Y_2 = 105,8459 + 4,3553X_1 - 17,9067X_3 - 0,0793X_1^2 - 0,0754X_1X_3 + 1,4884X_3^2; \quad (3)$$

– от содержания масла на металлических деталях X₃ и температуры моющего раствора X₂:

$$Y_3 = 184,7866 - 0,3901X_2 - 25,0267X_3 + 0,0056X_2^2 - 0,0305X_2X_3 + 1,8718X_3^2. \quad (4)$$

Аналогично для лабомида получены следующие уравнения:

$$Y_4 = 90,1073 - 1,101X_1 + 0,5983X_2 + 0,0074X_1^2 + 0,0114X_1X_2 - 0,006X_2^2; \quad (5)$$

$$Y_5 = 280,4974 + 1,1099X_1 - 57,8101X_3 + 0,0176X_1^2 - 0,3034X_1X_3 + 4,7153X_3^2; \quad (6)$$

$$Y_6 = 222,8166 - 0,0356X_2 - 36,2227X_3 - 0,0058X_2^2 + 0,1269X_2X_3 + 1,9937X_3^2. \quad (7)$$

Для моющего раствора на основе кальцинированной соды уравнения имеют вид:

$$Y_7 = 120,535 - 1,0527X_1 - 1,2993X_2 + 0,023X_1^2 + 0,0018X_1X_2 + 0,0113X_2^2; \quad (8)$$

$$Y_8 = 52,1695 - 0,796X_2 + 14,3766X_3 - 0,0331X_2^2 + 0,3428X_2X_3 - 1,7508X_3^2; \quad (9)$$

$$Y_9 = 163,5227 - 2,0081X_2 - 11,1875X_3 + 0,0066X_2^2 + 0,2485X_2X_3 - 0,2724X_3^2. \quad (10)$$

Параметр X_4 (время мытья) в силу своей незначительности в формулах (1)-(9) отсутствует. Это объясняется тем, что вследствие интенсификации процесса мойки ультразвуковыми колебаниями время мойки сокращается до минимума, и последующее время нахождения металлических деталей в машине значительного влияния не оказывает.

Анализ представленных моделей показал, что с увеличением концентрации раствора степень очистки возрастает, а при достижении определенной концентрации дальнейшее ее увеличение существенного

влияния на степень очистки не имеет. Количество масла на поверхности металлических деталей существенно не влияет на степень очистки.

Выводы

1. Полученные математические модели для очистки металлических деталей марок конструкционных углеродистых сталей и цветных металлов от СОЖ позволили определить оптимальные технологические параметры: – концентрацию моющих растворов – 15...20%; – рабочую температуру для димера – 20...30°C, для лабонида – 70...80°C, для кальцинированной соды – 80...90°C.

2. Время мытья (нахождение металлических деталей в машине) и количество масла на поверхности металлических деталей существенно не влияют на степень очистки.

3. Наиболее энергоэффективным и безопасным моющим раствором является димер. При ультразвуковой очистке использование лабонида является нецелесообразным ввиду его повышенного пенообразования.

Список использованных источников / References

1. Verhaagen B., Rivas D.F. Measuring cavitation and its cleaning effect. *Ultrasonics Sonochemistry*. 2016;29:619-628. <https://doi.org/10.1016/j.ultsonch.2015.03.009>
2. Vetrinmurugan, Goodson M., Terry L., Samiheta, Nagarajan, Siddharth J. Experimental Investigation of Ultrasonic and Megasonic Frequency on Cleaning of Various Disk Drive Components. *International Journal of Chemical Engineering and Applications*. 2013;4 (4):174-177. <https://doi.org/10.7763/IJCEA.2013.V4.288>
3. Weller R.N., Brady J.M., Bernier W.E. Efficacy of ultrasonic cleaning. *Journal of Endodontics*. 1980;6(9):740-743. [https://doi.org/10.1016/S0099-2399\(80\)80185-3](https://doi.org/10.1016/S0099-2399(80)80185-3)
4. Hicks Ch.R., Turner K.V. *Fundamental concepts in the design of experiments*. Oxford University Press, 1999. 576 p.
5. Илюхин А.В., Колбасин А.М., Цепкин П.А. Методы ультразвуковой очистки деталей в условиях основного и ремонтного производства // *Наукоедение: Интернет-журнал*. 2013. № 3 (16). С. 69. EDN: QZXYOR.
6. Илюхин А.В., Колбасин А.М., Цепкин П.А. Ultrasonic cleaning methods in the main parts and repair of production. *Naukovedenie*. 2013;3(16):69.
7. Майоров А.В., Михеева Д.А. Сравнительный анализ режимов мойки жестяных банок в моечных машинах струйного и погружного типов // *Вестник Марийского государственного университета*. 2014. № 1 (13). С. 48-53. EDN: SGLMVL.
8. Майоров А.В., Михеева Д.А. The comparative analysis of tin washing regimes in spray-washing and dunking washing

machines. *Vestnik of the Mari State University*. 2014;1(13):48-53. (In Rus.)

7. Fuchs F.J. *Ultrasonic cleaning: Fundamental theory and application*. 1995. URL: <https://ntrs.nasa.gov/citations/19950025362> (Last accessed: 09.06.2022).

8. Mason T.J. Ultrasonic cleaning: an historical perspective. *Ultrasonics Sonochemistry*. 2016;29:519-523. <https://doi.org/10.1016/j.ultsonch.2015.05.004>

9. 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). 101. <https://doi.org/10.23670/IRJ.2023.127.24>

Petrik D.Y., Korneev V.M., Petrik V.Yu. Factors of intensification of cleaning parts in submerged washing machines (as exemplified by ultrasonic cleaning method). *International Research Journal*. 2023;1(127):101. (In Rus.) <https://doi.org/10.23670/IRJ.2023.127.24>

10. 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>

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 Rus.) <https://doi.org/10.26897/2687-1149-2022-5-73-77>

Вклад авторов

Д.Ю. Петрик – проведение исследования, создание окончательной версии (доработка) рукописи и ее редактирование;
В.М. Корнеев – концептуализация, методология, руководство исследованием;
В.Ю. Петрик – проведение исследования.

Конфликт интересов

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов и несут ответственность за плагиат

Статья поступила 25.04.2023, после рецензирования и доработки 06.07.2023, принята к публикации 07.07.2023

Contribution of the authors

M.N. Erokhin – conceptualization;
V.V. Kirsanov – methodology, revision and editing of the final manuscript;
Y.G. Ivanov – resource;
S.V. Kirsanov – visualisation, manuscript drafting.

Conflict of interests

The authors declare no conflict of interests regarding the publication of this article and bear equal responsibility for plagiarism.

Received 25.04.2023; revised 06.07.2023; accepted 07.07.2023