

## ИССЛЕДОВАНИЕ ЭФФЕКТИВНОСТИ ОБРАБОТКИ ДЕТАЛЕЙ ПРИ СУДОРЕМОНТЕ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ОЧИСТКИ СМАЗОЧНО-ОХЛАЖДАЮЩИХ ЖИДКОСТЕЙ В МАГНИТНОМ ОТСТОЙНИКЕ<sup>1</sup>

*Б. А. Авдеев, А. В. Вынгра*

*Керченский государственный морской технологический университет,  
Керчь, Российская Федерация*

Рассматривается вопрос эффективности очистки смазочно-охлаждающих жидкостей, принимающих участие в технологических процессах обработки деталей при судоремонте. Одним из инструментов очистки является магнитный отстойник, обладающий высоким коэффициентом полезного действия при сравнительно низких затратах на эксплуатацию и обслуживание. Проведены лабораторные испытания магнитного отстойника по полнофакторному эксперименту с изменением определенных параметров с целью выявления показателя чистоты смазочно-охлаждающей жидкости при очистке от механических примесей. Получены зависимости, связывающие значение показателя чистоты смазочно-охлаждающей жидкости с технологическими и конструктивными параметрами магнитного отстойника. Выявлено влияние показателя чистоты смазочно-охлаждающей жидкости в магнитном отстойнике на шероховатость шлифованной поверхности образцов. При уменьшении концентрации механических примесей после очистки в магнитном отстойнике уменьшается параметр шероховатости поверхности образцов с 0,8 до 0,2 мкм. Определены наиболее рациональные параметры магнитного отстойника, при которых наблюдается оптимальная шероховатость поверхности при обработке коленчатого вала двигателя с применением смазочно-охлаждающей жидкости, очищенной в магнитном отстойнике. Приведена схема экспериментальной установки для определения эффективности очистки смазочно-охлаждающей жидкости от механических примесей в магнитном отстойнике, которая включает регулировочный трансформатор ЛАТР, понижающий трансформатор 220/12В, вольтметр, амперметр, блок выпрямительных диодов, магнитный отстойник. Отмечено, что погрешности представленных экспериментальных и расчетных зависимостей не превышали 10 %. Сделаны выводы, что очистка смазочно-охлаждающей жидкости в магнитном отстойнике до максимальных значений позволяет увеличить интервалы машинного времени между очистками круга до 70 %.

**Ключевые слова:** магнитный отстойник, эффективность очистки, магнитное поле, концентрация механических примесей, смазочно-охлаждающие жидкости.

**Для цитирования:** Авдеев Б. А., Вынгра А. В. Исследование эффективности обработки деталей при судоремонте с использованием очистки смазочно-охлаждающих жидкостей в магнитном отстойнике // Вестник Астраханского государственного технического университета. Серия: Морская техника и технология. 2020. № 2. С. 22–29. DOI: 10.24143/2073-1574-2020-2-22-29.

### Введение

При выполнении резания, выдавливания, прокатки, штамповки, сверления деталей и т. д. в процессе судоремонта часто используют смазочно-охлаждающие жидкости (СОЖ), которые отводят теплоту от рабочего инструмента и заготовки и смазывают трущиеся детали. В общем случае использование СОЖ позволяет увеличить интенсивность технологического процесса, производительность труда и оборудования, сократить время постройки или ремонта судна [1]. В процессе эксплуатации СОЖ загрязняются стружкой, твердой пылью, посторонними маслами или микроорганизмами. Загрязнение может являться причиной снижения эффективности и качества обработки материалов, а также привести к поломке оборудования.

<sup>1</sup> Статья подготовлена канд. техн. наук Б. А. Авдеевым в рамках выполнения гранта Государственного Совета Республики Крым молодым ученым Республики Крым для проведения научно-исследовательской работы по теме «Повышение качества технических жидкостей путем обработки магнитными устройствами».

Основная сила, которая действует на частицы в отстойнике – гравитационная, но при наличии магнитного поля на частицы действуют и магнитные силы  $F_M$  притяжения и коагуляции [2]:

$$F_M = \mu_0 \chi V H \text{grad} H,$$

где  $\mu_0 = \text{const} = 4\pi \cdot 10^{-7}$  – магнитная постоянная, Гн/м;  $\chi$  – магнитная восприимчивость, о. е.;  $V$  – объем частицы, м<sup>3</sup>;  $H$ ,  $\text{grad}H$  – напряженность магнитного поля и его градиент, А/м и А/м<sup>2</sup> соответственно [3].

Под действием магнитных (кулоновских) сил частицы увеличиваются, образуя флоккулы игольчатой структуры:

$$F_F = \frac{4\pi M_1 M_2}{\mu_0 \mu r^2},$$

где  $M_1, M_2$  – магнитные массы частиц, (м<sup>2</sup>·кг)/(с<sup>2</sup>·А);  $\mu$  – магнитная проницаемость среды, в которой находятся частицы;  $r$  – расстояние между частицами, м.

Одним из достоинств отстойника-осадителя является то, что он улавливает и магнитомягкие примеси. Этот тип магнитных отстойников получил наибольшее распространение как обеспечивающий высокую эффективность очистки при относительно небольших затратах на производство. Магнитные отстойники оснащены перегородками и немагнитными насадками [4] для того, чтобы дать всему загрязненному потоку пройти вблизи магнитного поля с высокой напряженностью.

Эффективность обработки материалов на судостроительных и судоремонтных предприятиях является одним из основных факторов развития отечественного судостроения. На основании этого целью настоящей работы является проведение опытно-промышленных испытаний с последующей оценкой результатов для определения наиболее рациональных параметров магнитного отстойника, при которых наблюдается оптимальная шероховатость поверхности при обработке коленчатого вала двигателя с применением СОЖ, очищенной в магнитном отстойнике.

### Первый этап испытаний

На первом этапе проводились лабораторные испытания магнитного отстойника по полнофакторному эксперименту, варьируя определенными параметрами с целью выявления показателя чистоты СОЖ при очистке от механических примесей.

На рис. 1 приведена схема установки, при помощи которой проводились экспериментальные исследования по выявлению эффективности очистки СОЖ от механических примесей в магнитном отстойнике.

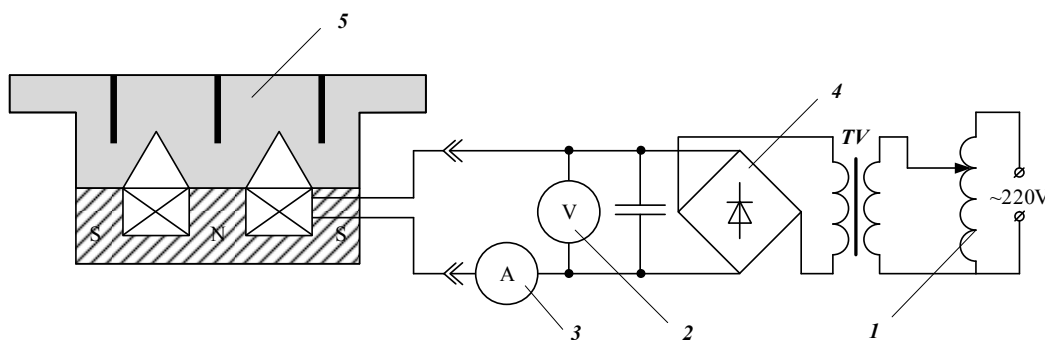


Рис. 1. Схема экспериментальной установки для определения эффективности очистки СОЖ от механических примесей в магнитном отстойнике:  $TV$  – понижающий трансформатор 220/12В;  $I$  – регулировочный трансформатор ЛАТР; 2 – вольтметр; 3 – амперметр; 4 – блок выпрямительных диодов; 5 – магнитный отстойник

Испытания проводились по общепринятой методике при следующих изменяемых параметрах: сила тока в обмотке электромагнита  $I = 5; 10; 15; 20; 25; 30$  А. В качестве СОЖ использовали трехпроцентную эмульсию «Укринол-1» с концентрациями механических примесей:

$\delta_{\text{вх}} = 0,25; 0,7; 1,0$  г/л. Для значений входной концентрации  $\delta_{\text{вх}}$  взяты средние гранулометрические характеристики примесей в СОЖ при шлифовании восстановленных коленчатых валов двигателей ЗИЛ. Скорость горизонтального движения СОЖ  $v_l$  в начале отстойника принимали 9–12 мм/с. Предельное значение показателя чистоты  $\delta_{\text{вых}}$  СОЖ в процессе эксплуатации принимаем равным 0,1 г/л.

На первом этапе исследования проводились при количестве витков в обмотке электромагнита – 2 800. При этом СОЖ с концентрацией механических примесей  $\delta_{\text{вх}}$ , равной 1,0 г/л, подавали в отстойник. Кроме того, в обмотке электромагнита изменяли величину силы тока  $I$ . После каждого изменения силы тока брали пробы очищенной СОЖ и определяли массовую концентрацию механических примесей согласно методике [5].

В результате эксперимента была получена зависимость, связывающая значение показателя чистоты СОЖ  $\delta_{\text{вых}}$  с технологическими и конструктивными параметрами магнитного отстойника  $\delta_{\text{вых}} = f(I, \delta_{\text{вх}})$  (рис. 2) [6].

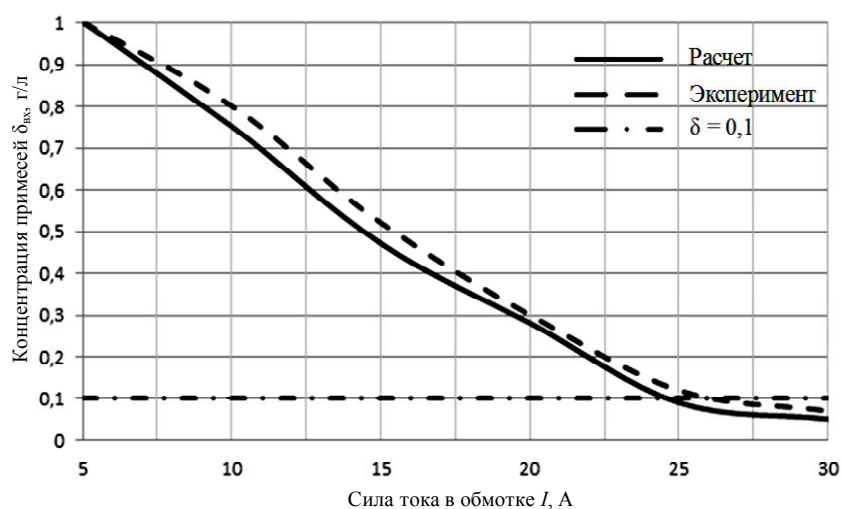


Рис. 2. Зависимость показателя чистоты СОЖ от изменения тока в обмотке при  $\delta_{\text{вх}} = 1$  г/л

Методика вышеприведенного эксперимента реализовывалась для последующих заданных концентраций:  $\delta_{\text{вх}} = 0,7$  и 0,25 г/л. Результаты экспериментов представлены на рис. 3, 4.

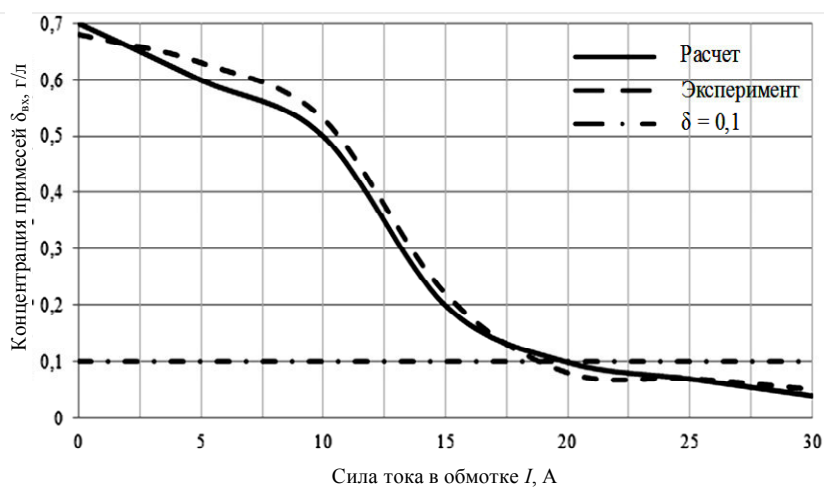


Рис. 3. Зависимость показателя чистоты СОЖ от изменения тока в обмотке при  $\delta_{\text{вх}} = 0,7$  г/л

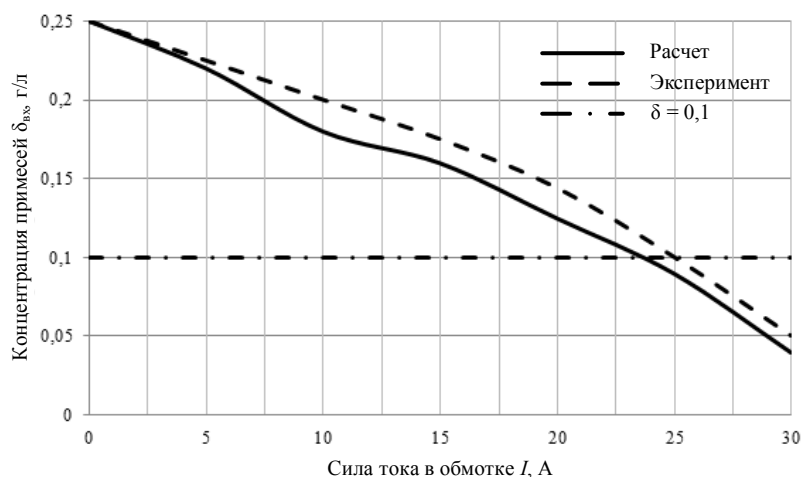


Рис. 4. Зависимость показателя чистоты СОЖ от изменения тока в обмотке при  $\delta_{вх} = 0,25$  г/л

Определенный практический интерес представляет эффективность очистки СОЖ от напряженности магнитного поля в отстойнике. Зависимость  $\mathcal{E} = f(H)$  представлена на рис. 5.

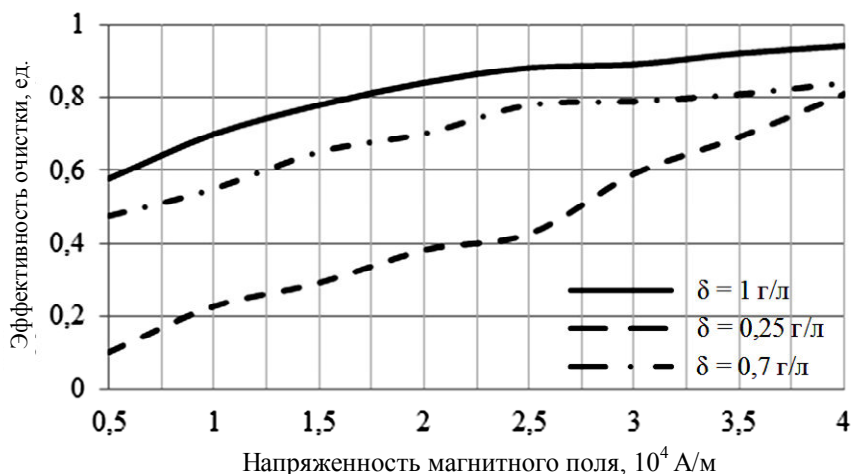


Рис. 5. Зависимость эффективности очистки СОЖ от напряженности магнитного поля в отстойнике

Погрешности приведенных экспериментальных и расчетных зависимостей не превышали 10 %.

### Второй этап испытаний

На втором этапе исследований проводились опытно-промышленные испытания эффективности абразивной обработки восстанавливаемых деталей с использованием очистки СОЖ в магнитном отстойнике.

Предпосылкой опытно-промышленных тестирований считалась необходимость увеличения производительности механической обработки [7]:

- наращиванием периода стойкости шлифовального круга и соответствующего сокращения количества его правок;
- методом изменения интенсивности режимов шлифования (изменением величины машинного времени);
- уменьшением затраты шлифовальных кругов и алмазных правящих инструментов.

При этом во всех случаях основным условием считается обеспечение требуемого свойства шлифованных деталей по ГОСТ 2789-73.

Условия абразивной обработки восстанавливаемых деталей требуют применения не только разных марок шлифовальных материалов, но и определенных размеров (зернистостей) основной фракции зерен (шлифзерно – 160–2 000 мкм; шлифпорошки – 40–125 мкм), а также разнообразие видов СОЖ, используемых при обработке деталей.

В связи с вышеобозначенным исследованием проводились на круглошлифовальном станке модели 3А151, электрокорундовыми кругами зернистостью 40–100 мкм, твердостью СТ1 и размером 1 (ПП) 900 × 50 × 305, согласно требованиям ГОСТ 2424-83, обрабатывались образцы наплавленных шеек коленчатых валов автомобиля ЗИЛ из стали 45 ГОСТ 1050-88 твердостью 50–60 HRC. Смазочно-охлаждающую жидкость (двухпроцентную эмульсию «Укринол-1» – смесь минерального масла, эмульгаторов и ингибиторов коррозии) подавали свободно падающей струей (поливом), расход которой составлял 10–12 л/мин. Правку круга проводили алмазом в оправе (тип 037–3908, 1037–0,04–64). Величина припусков на механическую обработку и рекомендуемые режимы шлифования определялись расчетно-аналитическим методом. Измерения параметров шероховатости обработанных поверхностей производились с помощью профилографа – профилометра модели 201 и визуального анализа профиля на приборе МИС11. Оценка состояния поверхности круга производилась визуально с помощью микроскопа МИМ-6, оснащенного цифровой камерой.

В начале экспериментальных исследований производили предварительное (черновое) ( $t_p = 0,03$  мм) шлифование образцов после наплавки, обеспечивая величину шероховатости поверхности  $R_a = 1,6$  мкм. Далее производили окончательное (чистовое) шлифование ( $t_p = 0,005$  мм). Требуемый параметр шероховатости поверхности детали составлял  $R_a = 0,32$  мкм.

Анализ полученных результатов подтверждает, что при уменьшении концентрации механических примесей после очистки в магнитном отстойнике (с 1,0 до 0,01 г/л) уменьшается и параметр шероховатости поверхности образцов  $R_a$  с 0,8 до 0,2 мкм [8].

Влияние показателя чистоты СОЖ в магнитном отстойнике на шероховатость шлифованной поверхности образцов представлено на рис. 6.

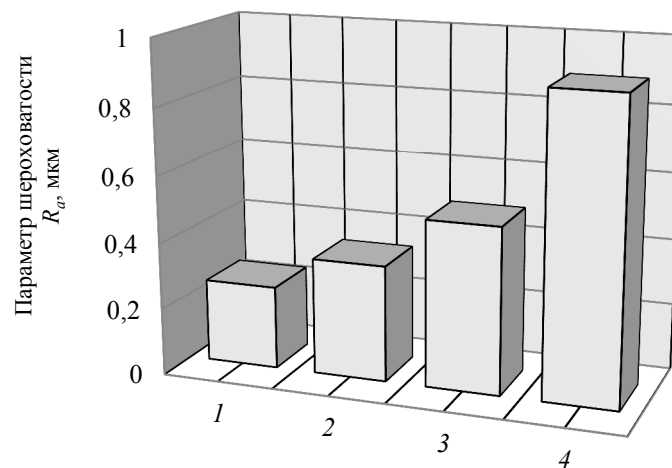


Рис. 6. Зависимость параметра шероховатости образцов от показателя чистоты СОЖ, г/л, в магнитном отстойнике:  
1 –  $\delta_{\text{вых}} = 0,01$ ; 2 –  $\delta_{\text{вых}} = 0,1$ ; 3 –  $\delta_{\text{вых}} = 0,4$ ; 4 –  $\delta_{\text{вых}} = 1,0$

Влияние показателя чистоты СОЖ в магнитном отстойнике на количество шлифованных шеек коленчатого вала до правки круга представлено на рис. 7.

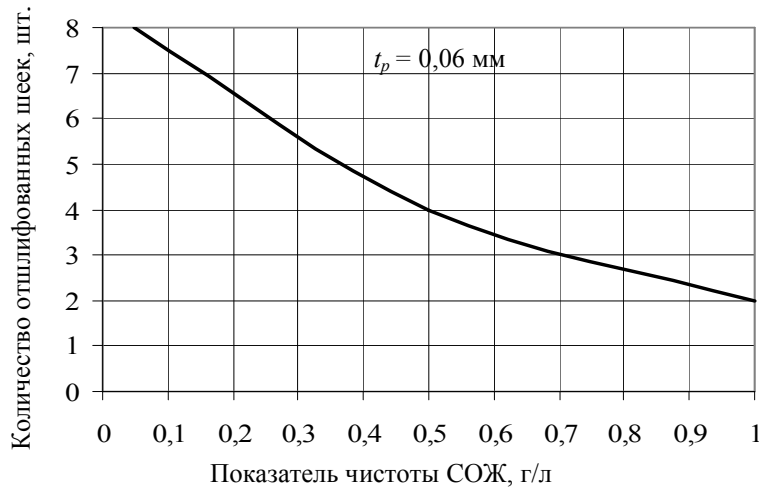


Рис. 7. Влияние показателя чистоты СОЖ в магнитном отстойнике на количество шлифованных шеек коленчатого вала (до правки круга)

Влияние уровня очистки СОЖ в магнитном отстойнике на производительность процесса шлифования коленчатого вала представлено на рис. 8.

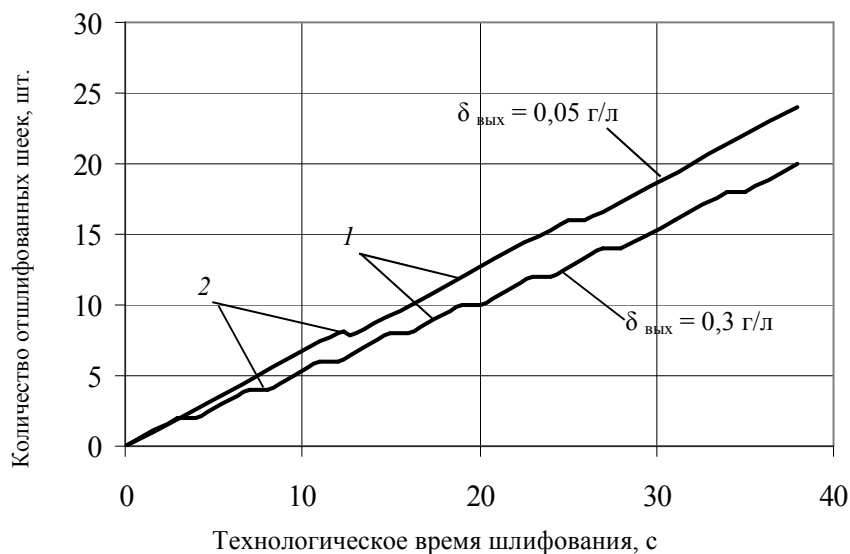


Рис. 8. Влияние показателя чистоты СОЖ в магнитном отстойнике на производительность процесса шлифования шеек коленчатых валов:  
1 – машинное время; 2 – правка круга

При длительном шлифовании и снятии больших неравномерных припусков повышается концентрация механических примесей в СОЖ  $\delta_{\text{вых}}$ , а значит, ухудшается параметр шероховатости. Кроме того, периодичность очистки шлифовального круга увеличивается, а это связано с повышением степени засаливания режущего инструмента. При этом параметр шероховатости обработанных поверхностей будет зависеть от уровня очистки СОЖ в магнитном отстойнике.

### Заключение

Анализ полученных результатов подтвердил, что очистка СОЖ в магнитном отстойнике до максимальных значений согласно ГОСТ 50558-93 делает возможным увеличение интервалов машинного времени между очистками круга до 70 %. При этом непосредственно после очистки

СОЖ шероховатость поверхности детали уменьшается от 50 до 30 %, что объясняется уменьшением степени засаливания шлифовального круга. Наиболее рациональная шероховатость поверхности ( $R_a = 0,32$  мкм) при обработке коленчатого вала двигателя ЗИЛ с применением СОЖ, очищенной в магнитном отстойнике, достигается при следующих параметрах магнитного отстойника: длина отстойника  $L = 0,65$  м; ширина отстойника  $A = 0,12$  м; высота отстойника  $h = 0,45$  м; число витков  $W = 2\ 800$ ; ток в обмотке  $I = 23\text{--}25$  А; мощность  $P = 453$  Вт.

## СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Мусохранов М. В., Калмыков В. В., Лозутенкова Е. В. Краткий обзор отделочных операций, применяемых для повышения эксплуатационных характеристик деталей машин // Науч. альманах. 2015. № 10-3 (12). С. 183–186.
2. Худобин Л. В., Бабичев А. П., Бульжеев Е. М. Смазочно-охлаждающие технологические средства и их применение при обработке резанием: справ. М.: Машиностроение, 2006. 544 с.
3. Зенкин Н. В., Варичкин И. А., Сорокин С. П. Анализ смазочно-охлаждающих жидкостей // Науч. альманах. 2016. № 4-3 (18). С. 82–85.
4. Zhukov V., Masyutkin E., Avdeyev B. The application of mathematical modeling for the development of devices as an example of viscous fluid purification from magnetic impurity // IOP Conference Series: Materials Science and Engineering. 2017. N. 177. P. 012015. DOI: 10.1088/1757-899X/177/1/012015.
5. Avdeyev B., Vyngra A., Bordiug A. Testing the efficiency of abrasive treatment of reconditioned parts using coolant cleaning in a magnetic sump // MATEC Web of Conferences. International Conference on Modern Trends in Manufacturing Technologies and Equipment, ICMTME 2019. 2019. Vol. 298. P. 00115. URL: <https://doi.org/10.1051/mateconf/201929800115> (дата обращения: 05.03.2020).
6. Вынгра А. В., Авдеев Б. А. Моделирование пуска электропривода компрессора судовой холодильной установки // Тр. Крылов. гос. науч. центра. 2019. Вып. 2. С. 143–151.
7. Черный С. Г., Чирков Д. В., Лапин В. Н. и др. Численное моделирование течений в турбомашинах. Новосибирск: Наука, 2006. 202 с.
8. Lyutov A., Kryukov A., Cherny S. et al. Modelling of a Francis Turbine Runner Fatigue Failure Process Caused by Fluid-Structure Interaction // IOP Conf. Series: Earth and Environmental Science. 2016. Vol. 49. URL: <https://iopscience.iop.org/article/10.1088/1755-1315/49/7/072012> (дата обращения: 05.03.2020).

Статья поступила в редакцию 14.04.2020

## ИНФОРМАЦИЯ ОБ АВТОРАХ

**Авдеев Борис Александрович** – Россия, 298309, Керчь; Керченский государственный морской технологический университет; канд. техн. наук, доцент; доцент кафедры электрооборудования судов и автоматизации производства; [dirigeant@mail.ru](mailto:dirigeant@mail.ru).

**Вынгра Алексей Викторович** – Россия, 298309, Керчь; Керченский государственный морской технологический университет; ассистент кафедры электрооборудования судов и автоматизации производства; [Elag1995@gmail.com](mailto:Elag1995@gmail.com).



## EXAMINING EFFICIENT TREATMENT OF PARTS DURING SHIP REPAIR WITH CUTTING FLUIDS CLEANING IN MAGNETIC SUMP

**B. A. Avdeev, A. V. Vyngra**

*Kerch State Maritime Technological University,  
Kerch, Russian Federation*

**Abstract.** The article considers the problem of cleaning efficiency of cutting fluids used in the technological processes of parts treatment during ship repair. One of the cleaning instruments is a magnetic sump which has a high efficiency at a relatively low cost of operation and maintenance. The laboratory tests of the magnetic sump were carried out using a full-factor experiment, with changing certain parameters in order to identify the coolant purity index when cleaning from mechanical impurities. The dependencies are obtained that connect the value of the coolant purity index with the technological and construction parameters of the magnetic sump. The influence of the

coolant purity index in the magnetic sump on the roughness of the polished surface of the samples was revealed. With a decreasing concentration of solids after cleaning in a magnetic sump, the surface roughness parameter of the samples decreases from 0.8 to 0.2  $\mu\text{m}$ . The most rational parameters of the magnetic sump have been determined, at which the optimal surface roughness is observed when processing the engine crankshaft using coolant cleaned in a magnetic sump. The scheme of the experimental facility has been presented to determine the efficiency of cleaning the cutting fluid from the mechanical impurities in a magnetic sump, which includes a LATR adjustment transformer, a 220 / 12V step-down transformer, a voltmeter, an ammeter, a rectifier diode unit, and a magnetic sump. It has been stated that the errors of the presented experimental and calculated dependences did not exceed 10%. It has been inferred that cleaning the cutting fluid in the magnetic sump to maximum values allows increasing the intervals of machine time between cleaning the circle up to 70%.

**Key words:** magnetic sump, cleaning efficiency, magnetic field, mechanical impurities concentration, cutting fluids.

**For citation:** Avdeev B. A., Vyngra A. V. Examining efficient treatment of parts during ship repair with cutting fluids cleaning in magnetic sump. *Vestnik of Astrakhan State Technical University. Series: Marine Engineering and Technologies*. 2020;2:22-29. (In Russ.) DOI: 10.24143/2073-1574-2020-2-22-29.

#### REFERENCES

1. Musohranov M. V., Kalmykov V. V., Logutenkova E. V. Kratkij obzor otdelochnyh operacij, primenyaemyh dlya povysheniya ekspluatacionnyh harakteristik detalej mashin [Brief overview of finishing operations used to improve performance of machine parts]. *Nauchnyj al'manah*, 2015, no. 10-3 (12), pp. 183-186.
2. Hudobin L. V., Babichev A. P., Bulyzhev E. M. *Smazochno-ohlazhdayushchie tekhnologicheskie sredstva i ih primenenie pri obrabotke rezaniem: spravochnik* [Lubricating and cooling technological means and their use in cutting: reference book]. Moscow, Mashinostroenie Publ., 2006. 544 p.
3. Zenkin N. V., Varichkin I. A., Sorokin S. P. Analiz smazochno-ohlazhdayushchih zhidkostej [Analysis of cutting fluids]. *Nauchnyj al'manah*, 2016, no. 4-3 (18), pp. 82-85.
4. Zhukov V., Masyutkin E., Avdeyev B. The application of mathematical modeling for the development of devices as an example of viscous fluid purification from magnetic impurity. *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering*, 2017, no. 177, pp. 012015. DOI: 10.1088/1757-899X/177/1/012015.
5. Avdeyev B., Vyngra A., Bordiug A. Testing the efficiency of abrasive treatment of reconditioned parts using coolant cleaning in a magnetic sump. *MATEC Web of Conferences International Conference on Modern Trends in Manufacturing Technologies and Equipment, ICMTME 2019*, 2019, vol. 298. P. 00115. Available at: <https://doi.org/10.1051/mateconf/201929800115> (accessed: 05.03.2020).
6. Vyngra A. V., Avdeev B. A. Modelirovanie puska elektroprivoda kompressora sudovoj holodil'noj ustanovki [Simulation of start-up of compressor electric drive in ship refrigeration unit]. *Trudy Krylovskogo gosudarstvennogo nauchnogo centra*, 2019, iss. 2, pp. 143-151.
7. Chernyj S. G., Chirkov D. V., Lapin V. N. i dr. *Chislennoe modelirovanie techenij v turbomashinah* [Numerical simulation of flows in turbomachines]. Novosibirsk, Nauka Publ., 2006. 202 p.
8. Lyutov A., Kryukov A., Cherny S. et al. Modelling of a Francis Turbine Runner Fatigue Failure Process Caused by Fluid-Structure Interaction. *IOP Conf. Series: Earth and Environmental Science*, 2016, vol. 49. Available at: <https://iopscience.iop.org/article/10.1088/1755-1315/49/7/072012> (accessed: 05.03.2020).

The article submitted to the editors 14.04.2020

#### INFORMATION ABOUT THE AUTHORS

**Avdeev Boris Aleksandrovich** – Russia, 298309, Kerch; Kerch State Maritime Technological University; Candidate of Technical Sciences, Assistant Professor; Assistant Professor of the Department of Electrical Equipment of Ships and Industrial Automation; [dirigeant@mail.ru](mailto:dirigeant@mail.ru).

**Vyngra Aleksei Viktorovich** – Russia, 298309, Kerch; Kerch State Maritime Technological University; Lecturer of the Department of Electrical Equipment of Ships and Industrial Automation; [Elag1995@gmail.com](mailto:Elag1995@gmail.com).

