

ДОСЛІДЖЕННЯ ВПЛИВУ ЕЛЕКТРОАКТИВАЦІЇ РІДИНИ НА СИСТЕМИ ОХОЛОДЖЕННЯ ДВИГУНІВ ВНУТРІШНЬОГО ЗГОРАННЯ

Семенов М.М., Шаповалов Ю.О.

Національний університет кораблебудування імені адмірала С. Й. Макарова, м. Миколаїв

Проведено дослідження способів зниження інтенсивності корозійно-ерозійних руйнувань поверхонь втулок циліндрів. Встановлено, що покращення якості охолоджуючої рідини можливе за рахунок збільшення водневого показника до оптимальних значень шляхом використання метода електрохімічної активації. Для проведення досліджень ефективності застосування електроактивованої рідини створено лабораторну установку. Розроблено математичні моделі залежності величини корозійно-ерозійних руйнувань зразків від показника рН при різних значеннях температури і витрати охолоджуючої рідини.

Ключові слова: електроактивація, електроактивувана охолоджуюча рідина, кавітація, корозія, водневий показник.

Постановка проблеми. На підприємствах України використовуються енергетичне обладнання різного конструктивного виконання, у тому числі теплових двигунів. Як показує тривалий досвід головною причиною зменшення терміна його роботи є високе пошкодження внутрішніх поверхонь. Одним із чинників, що негативно впливає на ефективність роботи енергетичного обладнання є фізико-хімічні властивості робочого середовища, які здатні призвести до розвитку корозійних і кавітаційних процесів.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Аналізуючи різноманітні літературні джерела встановлено, що для підвищення ерозійно-корозійної стійкості поверхонь охолодження двигунів внутрішнього згорання (ДВЗ) використовують такі методи: конструктивні поліпшення деталей циліндро-поршневої групи (ЦПГ); технологічна обробка матеріалу циліндрової втулки; проведення експлуатаційних заходів щодо зниження кавітаційно-корозійного руйнування поверхонь охолодження. Найефективнішими серед них визначено експлуатаційні заходи, до яких, насамперед, належить якісна підготовка охолоджувальної рідини. Покращення якості охолоджуючої рідини можливе за рахунок збільшення водневого показника до оптимальних значень шляхом використання методів рН-корекції. Одним із таких методів є електрохімічна активація. Даний метод використано в ряді робіт [3, 6] харчової та біологічної промисловості. Пропонується провести дослідження використання електроактивованої охолоджуючої рідини в системі охолодження двигунів внутрішнього згорання, що дозволить значно подовжити термін їх експлуатації.

Мета статті – проаналізувати можливість збільшення ресурсних показників суднових ДВЗ за допомогою підвищення якості охолоджуючої рідини і вдосконалення технології експлуатації систем охолодження.

Викладення основного матеріалу. У ДВЗ від 8 до 25 % тепла, що виділяється при згоранні палива передається в стінки ЦПГ, які, щоб уникнути перегріву, необхідно охолоджувати. Відведення тепла здійснюється в системах охолодження. Найбільш поширеним є охолодження водою [1].

При охолодженні дизеля водою, в порожнинах і трубопроводах системи охолодження протікають фізико-хімічні процеси, що впливають на роботу системи, а в кінцевому підсумку, і на надійність двигуна, його ресурс і економічність. Характерними для систем охолодження є процеси кавітаційно-корозійних руйнувань і утворення відкладень і накипу. Особливо сильний вплив на роботу двигуна чинить інтенсивність цих процесів у зарубашечному просторі.

Існує декілька способів підвищення стійкості циліндрових втулок, а також блоків ДВЗ [5], в умовах експлуатації найбільш прийнятною є обробка охолоджуючої рідини дизелів шляхом застосування присадок. Істотним недоліком присадок є їх висока

чутливість до концентрації в охолоджуючій воді. Зниження концентрації присадки призводить до оголення окремих анодних ділянок поверхні металу і інтенсивного руйнування у формі точкової (пітингової) корозії. При цьому швидкість процесу руйнувань може в кілька разів перевищити швидкість корозії у воді, що взагалі не містить інгібітор.

Тому далі пропонується розглянути метод електрохімічної активації як метод регулювання властивостей рідини та водних розчинів.

Процес електроактивації реалізується в спеціальних пристроях – електроактиваторах, у яких міжелектродний простір розділений діафрагмою. На катоді відбувається відновлення рідини з виділенням водню і накопиченням гідроксидіонів, а на аноді – окислення рідини з виділенням кисню. Розчин, що одержується в анодній камері активатора, називають анолітом або кислою фракцією електроактивованої рідини, а розчин з катодної камери відповідно католітом або лужною фракцією.

Основними показниками, що характеризують ступінь відхилення одержуваних розчинів від рівноважного стану, є показники рН та окисно-відновний потенціал (ОВП). Величина цих параметрів залежить від фізичних факторів процесу активації: сили струму, площі електродів і напруги на них, витрати рідини, тиску в зоні активації, а також від мінералізації розчину. Найважливішою перевагою ЕХА перед реагентними методами управління властивостями розчинів є те, що електрохімічний вплив не тягне за собою збільшення вмісту іонів в розчинах, не забруднює їх сторонніми речовинами, так як відбувається виключно завдяки обміну між електродами і розчином.

Для проведення досліджень ефективності застосування електроактивованої рідини (ЕАР) створено лабораторну установку, що обладнана магнітострикційним вібратором (МСВ). Так як метод дослідження на МСВ дозволяє досліджувати процеси, що відбуваються при кавітаційних руйнуваннях, з найбільшим наближенням до умов руйнувань на дизелях при зміні різних параметрів з мінімальною витратою часу [2].



Рисунок 1 – Фото експериментального стенду

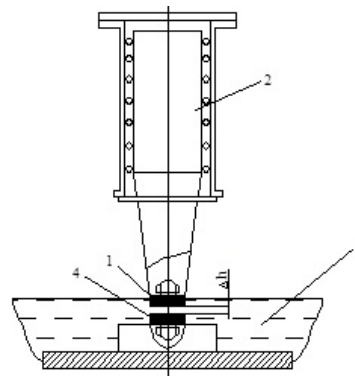


Рисунок 2 – Схема магнітострикційного вібратора : 1 – віброуючий зразок; 2 – МСВ; 3 – вода; 4 – нерухомий зразок

Сутність цього способу полягає в тому, що випробуваний зразок кріпиться на занурений у робочу рідину кінець концентратора, що здійснює поздовжні коливання з частотами від 5000 до 25000 Гц і більше з різними амплітудами (рис. 2). Коливання концентратора відбуваються під впливом змінного магнітного поля, створюваного обмоткою збудження [3, 4].

Схема лабораторної установки зображена на рис. 3 і включає наступні елементи: генератор ультразвукових коливань (1), магнітострикційний вібратор (2), випробувальну камеру (3), витратомір рідини (4), розширювальний бак (5), циркулярний насос (6), байпасний клапан (7) і нагрівальний елемент (8).

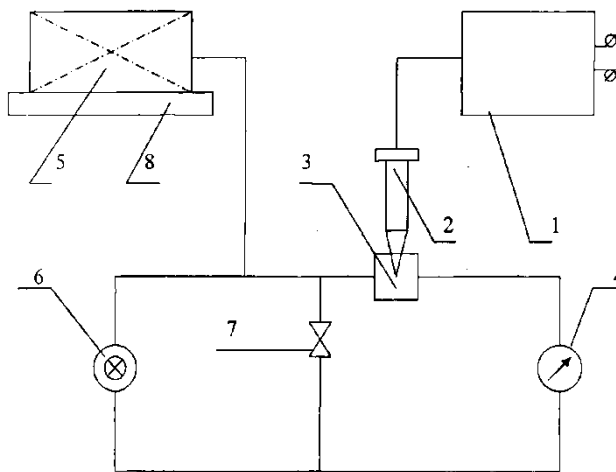


Рисунок 3 – Схема лабораторної установки

Лабораторні випробування проводилися на зразках, виготовлених із сірого чавуну СЧ-24, попередньо відшліфованих і знежирених, з наступними параметрами: висота – 84,6 мм, ширина – 70 мм, товщина – 4 мм.

Моделювання умов корозійно-ерозійних процесів у системах охолодження здійснювалося у випробувальній камері, в яку вміщалися два випробовуваних зразка: «пасивний» і «активний». Активний зразок різьбового з'єднання жорстко закріплювався на концентраторі магнітострикційного вібратора, який створює поздовжні коливання з частотою 22 кГц. Зазор між пасивним і активним зразками становив 10 мм, що відповідає величині зарубашечного простору двигуна.

Таким чином, активний зразок імітував втулку циліндра, а пасивний – стінку блоку. Витрата води в контурі регулювалася зміною частоти обертання насоса та контролювалася витратоміром рідини.

Випробування зразків проводилися при варіюванні параметрів охолоджувальних середовищ від дистильованої води до активованого середовища з різними рН. Оцінкою ефективності використання електроактивованої рідини в експерименті слугувала втрата маси зразка за час одного досліду. Тривалість одного досліду складала 200 хвилин, кожен дослід повторювався чотири рази.

В табл. 1 представлені середні значення по кожному експерименту.

Таблиця 1 – Результати експериментів

№ експерименту	Рідина, що використовувалась	Значення рН до експерименту	Маса активного зразка до експерименту, гр	Маса пасивного зразка до експерименту, гр	Значення рН після експерименту	Маса активного зразка після експерименту, гр	Маса пасивного зразка після експерименту, гр	Втрата маси активного за час експерименту, гр	Втрата маси пасивного за час експерименту, гр
1	Водопровідна вода	7,35	170,01	170,02	7,2	169,87	169,96	0,14	0,06
2	Дистиллят	7	169,66	163,17	6,85	169,58	163,12	0,08	0,05
3	ЕАР 1 (ЕАР отримана з водопров. води)	8,55	169,58	163,12	8	169,52	163,08	0,06	0,04
4	ЕОР 2 (ЕАР отримана з дистилляту)	9,37	169,44	162,82	8,7	169,41	162,8	0,03	0,02

Випробування зразків проводилися при варіюванні параметрів охолоджуючого середовища від водопровідної води до електроактивованої рідини з різними показниками рН.

Обробка результатів, зведених у табл. 2, здійснювалась з метою отримання регресійних моделей, адекватність яких перевірялася за допомогою критерію Фішера-Снедекора.

Таблиця 2 – Оцінка значення коефіцієнтів регресії і адекватності регресійної моделі величини зносу зразків в випробувальних охолоджуючих рідинах

№	Розрахунковий параметр	Розрахункова формула	Величина параметра				Табличне значення
			ЕОР 1		ЕОР 2		
			Активний зразок	Пасивний зразок	Активний зразок	Пасивний зразок	
1	b_0	$\frac{\sum_{u=1}^N m_{cpi}}{N}$	60	40	30	20	
2	b_i	$\frac{\sum_{u=1}^N m_{cpi} x_{iu}}{N}$	$b_1 = -12,52$ $b_2 = -4,18$	$b_1 = -1,65$ $b_2 = 3,35$	$b_1 = -4,175$ $b_2 = -4,175$	$b_1 = -3,325$ $b_2 = -0,025$	
3	b_{ij}	$\frac{\sum_{u=1}^N m_{cpi} x_{iu} x_{ju}}{N}$	$b_{12} = 0,83$	$b_{12} = 10$	$b_{12} = 0,825$	$b_{12} = -1,675$	
4	S_y^2	$\frac{\sum_{j=1}^N S_i^2}{N}$	0,61	1,2	2,04	1,1	
5	G	$S_{j \max}^2 / \sum_{j=1}^N S_i^2$	0,29	0,25	0,36	0,27	0,633
6	$S_{ан}^2$	$\frac{k \sum_{u=1}^N (m_{ju} - m_{poz})^2}{N(k-1)}$	1,01	3,25	13,2	4,03	
7	F	$S_{ад}^2 / S_y^2$	1,66	2,7	6,5	3,66	19,25

При побудові лінійних регресійних моделей розрахунок їх коефіцієнтів обмежувався тільки ефектом парної взаємодії, ефекти більш високих порядків не враховувалися. Таким чином, отримані моделі мають наступний вигляд:

$$m = b_0 + b_1 \cdot pH + b_2 \cdot Q + b_{12} \cdot pH \cdot Q;$$

– для активного зразка в ЕОР 1 (електроактивованій рідині, що отримана з водопровідної води, рН = 8,55):

$$m = 60 - 12,5 pH - 4,18Q + 0,83 pHQ$$

– для пасивного зразка в ЕОР 1 (електроактивованій рідині, що отримана з водопровідної води, рН = 8,55):

$$m = 40 - 1,65 pH + 3,35Q + 10 pHQ$$

– для активного зразка в ЕОР 2 (електроактивованій рідині, що отримана з дистильованої води, рН=9,37):

$$m = 30 - 4,175 pH - 4,175Q + 0,825 pHQ$$

– для пасивного зразка в ЕОР 2 (електроактивованій рідині, що отримана з дистильованої води, рН = 9,37):

$$m = 20 - 3,325 pH - 0,025Q - 1,675 pHQ$$

У зазначених виразах визначальним значенням є нульовий член (b_0), таким чином, з наведених регресійних рівнянь видно, що найбільша величина зносу як активного, так і пасивного зразка виникає в електроактивованій рідині отриманій з водопровідної води з рН 8,55. Величина зносу зразків у електроактивованій рідині отриманій з дистильованої води з рН 9,37 має менше значення. Знак коефіцієнтів регресії вказує на позитивний чи негативний вплив лінійного ефекту на результат досліду. Отже в різних електроактивованих рідинах вплив прийнятих в експерименті факторів проявляються по-різному, що є наслідком відмінності їх фізико-хімічних властивостей.

На рис. 4 зображений графік залежності температури від часу випробування. Відомим фактом є те, що при підвищенні температури змінюється рН, тому було досліджено зміну температури за часом експерименту. Даний графік підтверджує, що при проведенні експерименту необхідно враховувати збільшення температури охолоджуючої рідини.

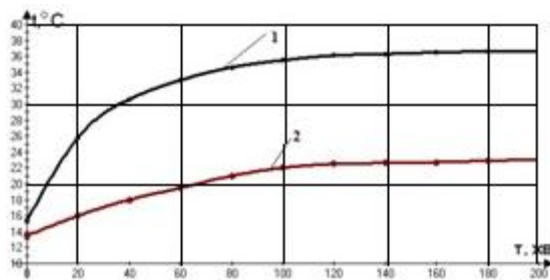


Рисунок 4 – Залежність температури від часу випробування: 1 – зміна температури робочої рідини при роботі генератора та насосу; 2 – зміна температури при роботі насосу

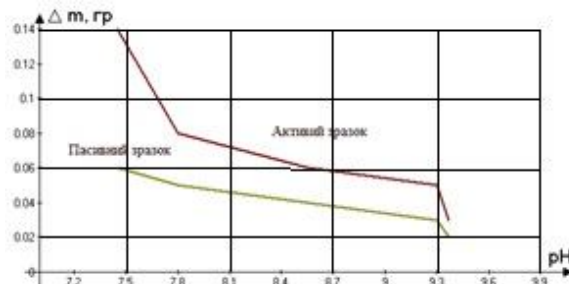


Рисунок 5 – Залежність швидкості корозії від рН

Рис. 5 підтверджує твердження про залежність швидкості корозії від рН. Зі збільшення рН на 2 одиниці втрата маси активного зразка зменшилась на 110 мг, пасивного зразка на 40 мг.

На рис. 6 показано зміну значення рН в залежності від тривалості проведення експерименту, що підтверджує теорію про релаксацію електроактивованих розчинів. Графік показує, що за 200 хвилин рН водопровідної та дистильованої рідин зменшилось на 0,15, а рН електроактивованих рідин на 0,67. Це означає, що приблизно через 200 хвилин необхідно повторно проводити електроактивацію охолоджуючої рідини, щоб підтримувати в системі охолодження умови, які зменшують корозійно-ерозійний вплив на деталі циліндро-поршневої групи.

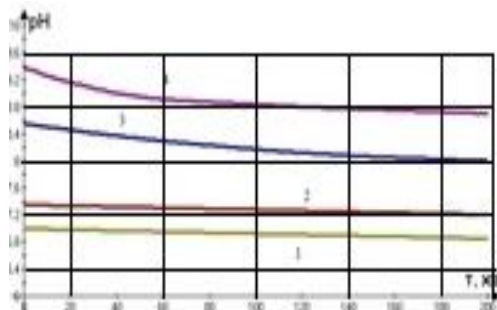


Рисунок 6 – Зміна рН в залежності від тривалості експерименту: 1 – водопровідна вода; 2 – дистилат; 3 – ЕОР отримана з водопровідної води; 4 – ЕОР отримана з дистилату

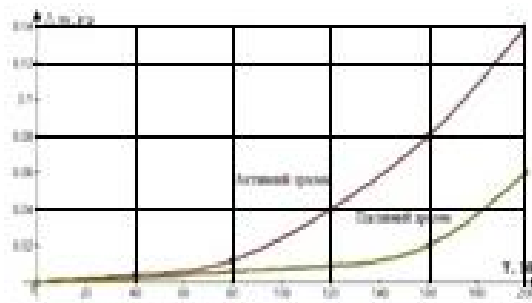


Рис. 7. Швидкість корозії зразків при випробуванні водопровідної води з рН 7,35

Наступні чотири графіки (рис. 7–10), описують швидкість корозії кожного з випробуваних зразків при використанні різних охолоджуючих рідин. Бачимо, що швидкість корозії при використанні водопровідної та дистильованої рідин з рН 7,35 та 7 відповідно значно більше ніж при використанні електроактивованих рідин. Особливо при випробуванні з електроактивованою охолоджуючою рідиною, що отримана з дистильованої води, з рН = 9,37, приблизно через 160 хвилин досліду випробуваний зразок перестає втрачати масу, тобто швидкість корозії зменшується.

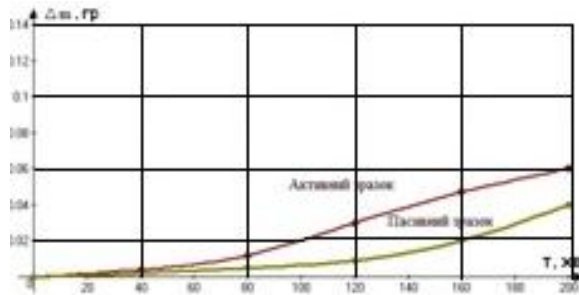


Рисунок 8 – Швидкість корозії зразків при випробуванні дистилляту з рН7

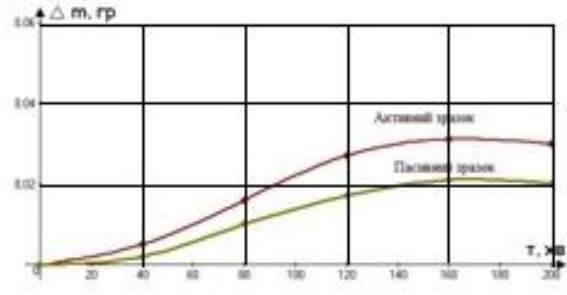


Рисунок 9 – Швидкість корозії зразків при випробуванні ЕОР з рН 8,55

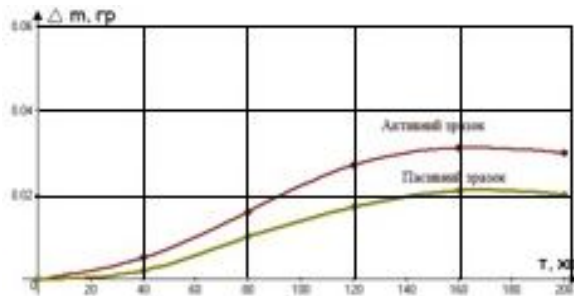


Рисунок 10 – Швидкість корозії зразків при випробуванні ЕОР з рН 9,37

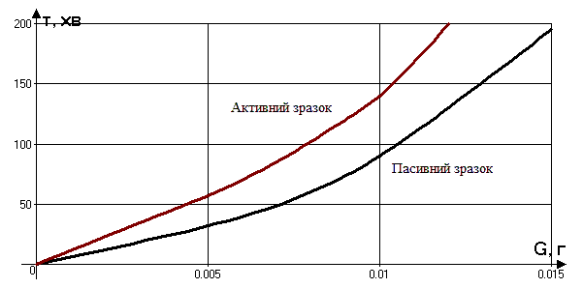


Рисунок 11 – Руйнування чавунних зразків з різною шорсткістю поверхні

У процесі випробувань, проведених на чавунних зразках із використанням магнітострикційного вібратора підтвердилося, що втрата маси зразків за один і той же проміжок часу зменшується зі зменшенням шорсткості поверхні рис. 11.

Висновки. Виявлено, що при значенні рН 9,37 і більше швидкість корозії зменшується, сталь практично не кородує, так як настає її пасивація. Отже, отримана електроактивована рідина володіє антикорозійними властивостями та захищає метал від кавітаційної ерозії, тобто здійснює комплексний захист теплообмінних поверхонь систем охолодження.

СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

1. Возницький І. В. Судовые двигатели внутреннего сгорания. Том 2. / І. В. Возницький, А. С. Пунда. – М. : Моркнига, 2008. – 470 с.
2. Иванченко Н. Н. Кавитационные разрушения в дизелях / Н. Н. Иванченко, А. А. Скуридин. – Л. : Машиностроение, 1970. – 152с.
3. Петрушенко І. Ю. Физико-химические свойства и биологическое действие водных растворов, полученных в мембранном электролизере : дис...канд. техн. наук / І. Ю. Петрушенко – М., 2002. – 173 с.
4. Прилуцкий В. И. Электрохимическая активированная вода : аномальные свойства и механизм биологического действия / В. И. Прилуцкий, В. М. Бахир. – М., 1997. – 228с.

5. Сухотина А. М. Коррозия и борьба с ней. Введение в коррозионную науку и технику / А. М. Сухотина. – Л. : Химия, 1989. – 456 с.

6. Шаманаева Е. А. Исследование процесса получения активированных жидких систем : дис. канд. техн. наук: 05.18.12 / Шаманаева Елена Анатольевна. – Ставрополь, 2005. – 209 с.

REFERENCES

1. Voznickiy I. V. Sudovihe dvigateli vnutrennego sgoraniya. Tom 2. / I. V. Voznickiy, A. S. Punda. – M. : Morkniga, 2008. – 470 s.

2. Ivanchenko N. N. Kavitacionnihe razrusheniya v dizelyakh / N. N. Ivanchenko, A. A. Skuridin. – L. : Mashinostroenie, 1970. – 152s.

3. Petrushenko I. Yu. Fiziko-khimicheskie svoystva i biologicheskoe deystvie vodnihkh rastvorov, poluchennihkh v membrannom ehlektrolizere : dis...kand. tekhn. nauk / I. Yu. Petrushenko – M., 2002. – 173 s.

4. Priluckiy V. I. Ehlektrokhimicheskaya aktivirovannaya voda : anomaljnihe svoystva i mekhanizm biologicheskogo deystviya / V. I. Priluckiy, V. M. Bakhir. – M., 1997. – 228s.

5. Sukhotina A. M. Korroziya i borjba s neyj. Vvedenie v korrozionnuyu nauku i tekhniku / A. M. Sukhotina. – L. : Khimiya, 1989. – 456 s.

6. Shamanaeva E. A. Issledovanie processa polucheniya aktivirovannihkh zhidkikh sistem : dis. kand. tekhn. nauk: 05.18.12 / Shamanaeva Elena Anatoljevna. – Stavropolj, 2005. – 209 s.

Семенов Н.Н., Шаповалов Ю.А. ИССЛЕДОВАНИЕ ВЛИЯНИЯ ЭЛЕКТРОАКТИВАЦИИ ЖИДКОСТИ НА СИСТЕМЫ ОХЛАЖДЕНИЯ ДВИГАТЕЛЯ ВНУТРЕННЕГО СГОРАНИЯ

В данной статье проведено теоретическое и практическое исследования разных способов снижения интенсивности коррозионно-эрозионных разрушений поверхностей втулок цилиндров дизелей. Выявлено, что наиболее эффективным и относительно малозатратным способом повышения эрозионно-коррозионной стойкости поверхностей охлаждения ДВЗ являются эксплуатационные, к которым, прежде всего, принадлежит качественная подготовка охлаждающей жидкости. Доказано, что улучшение качества охлаждающей жидкости возможно за счет увеличения водородного показателя к оптимальным значениям путем использования методов рН - коррекции, а именно – с помощью увеличения значения рН методом электрохимической активации. Проведен анализ методов воздействия рН охлаждающей жидкости на коррозионно – эрозионные процессы в элементах энергетических установок, и избрано для дальнейших исследований метод с применением магнитострикционного вибратора, который нашел наиболее широкое применение и позволяет исследовать процесс с наибольшим приближением к условиям разрушений на дизелях при смене разных параметров с минимальной затратой времени. Для проведения исследований эффективности применения электроактивированной жидкости была создана лабораторная установка с магнитострикционным вибратором. Разработаны математические модели зависимости величины коррозионно-эрозионных разрушений образцов от показателя рН при разных значениях температуры и расхода охлаждающей жидкости. Выявлено, что при величине рН 9,37 и больше скорость коррозии уменьшается, сталь практически не корродирует, так как наступает ее пассивация. Результаты исследования, возможно, использовать при проектирование систем охлаждения двигателей энергетических установок стационарных и мобильных объектов.

Ключевые слова: электроактивации, электроактивированная охлаждающая жидкость, кавитация, коррозия, водородный показатель.

Semenov M.M., Shapovalov Yu.O. STUDY OF THE INFLUENCE OF THE LIQUID ELECTROACTIVATION SYSTEM FOR COOLING AN INTERNAL COMBUSTION ENGINE

In this paper, a theoretical and practical study of different ways to reduce the intensity of corrosion-erosion surfaces of cylinder liners destruction of diesel engines. It was found that the most effective and relatively low-cost ways to improve the erosion-corrosion resistance of the cooling surface ISE are operational, which primarily owns high-quality preparation of the coolant. It is proved that the improvement of the quality of the coolant is possible by increasing the pH value to the optimum values by using the methods of pH – correction, namely by increasing the pH by electrochemical activation. The analysis of methods to influence the pH of coolant corrosion – erosion processes in the elements of power plants, and chosen for further research method using magnetostriction vibrator which found the most widely used and allows you to explore the process with the greatest approximation to the conditions of destruction on diesel engines by changing various parameters minimal time. To research the effectiveness of liquid elektroaktivition was created laboratory setup with magnetostriction vibrator. The mathematical models of the dependence of the corrosion-erosion destruction of the samples at different pH values of the temperature and flow rate of the coolant. It was found that at pH 9.37 and more corrosion rate decreases, the steel does not corrode nearly as it comes passivation. The findings may be used in the design of cooling systems of power plants stationary and mobile objects.

Keywords: *electrochemical, electrochemical coolant, cavitation, corrosion, pH value.*

© Семенов М. М., Шаповалов Ю. О.

Статтю прийнято
до редакції 14.10.15