

УДК 625.144.5

DOI: <https://doi.org/10.18664/1994-7852.165.2016.87749>

АНАЛІЗ ВЛАСТИВОСТЕЙ РОБОЧИХ РІДИН ГІДРОПРИВОДІВ КОЛІЙНОЇ ТЕХНІКИ ЗАЛІЗНИЦЬ УКРАЇНИ

Д-р техн. наук С. В. Воронін, асист. І. Ю. Сафонюк,
кандидати техн. наук Д. В. Онопрейчук, В. О. Стефанов, асп. О. О. Суранов

АНАЛИЗ СВОЙСТВ РАБОЧИХ ЖИДКОСТЕЙ ГИДРОПРИВОДОВ ПУТЕВОЙ ТЕХНИКИ ЖЕЛЕЗНЫХ ДОРОГ УКРАИНЫ

Д-р техн. наук С. В. Воронин, асист. И. Ю. Сафонюк,
кандидаты техн. наук Д. В. Онопрейчук, В. О. Стефанов, асп. О. О. Суранов

ANALYSIS OF PROPERTIES ACTUATING FLUID TRACK EQUIPMENT RAILROADS OF UKRAINE

Dr. sc. sciences S.V. Voronin, assist. I.Y. Safonyuk,
cand-tehn. sciences D.V. Onopreychuk, V.O. Stefanov, phd student O.O. Suranov

Наведено результати досліджень поточного стану робочих рідин гідроприводів колійної техніки Південної залізниці України. На основі проведених досліджень виконано аналіз характеру та інтенсивності їх забруднення, а також визначений вплив наявних забруднень на трибологічні властивості рідин. Встановлено, що головними забруднювачами рідин є механічні домішки та диспергована вода, причому концентрація води в деяких випадках перевищує допустимі значення, що призводить до погіршення трибологічних властивостей. Отримані дані дозволили обґрунтувати шляхи забезпечення промислової чистоти робочих рідин колійної техніки.

Ключові слова: знос, реальний стан оливи, забруднення оливи водою, робоча рідина, окиснення.

Приведены результаты исследований текущего состояния рабочих жидкостей гидроприводов путевой техники ЮЖД Украины. На основании проведенных исследований выполнен анализ характера и интенсивности их загрязнения, а также определено влияние имеющихся загрязнений на трибологические свойства жидкостей. Установлено, что главными загрязнителями жидкостей являются механические примеси и диспергированная вода, причем концентрация воды в некоторых случаях превышает допустимые значения, что приводит к ухудшению трибологических свойств. Полученные данные позволили обосновать пути обеспечения промышленной чистоты рабочих жидкостей путевой техники.

Ключевые слова: износ, реальное состояние масла, загрязнение масла водой, рабочая жидкость, окисление.

The methodology of creating energy efficient means of clearing hydraulic working fluids of travel technique, needed laboratory analysis of the current status of these fluids. The article presents the results of physicochemical and tribological properties of liquids ТП-22 and И-20. They were selected from hydraulic machines ПМГ and МИТ-4 of the Southern Railway of Ukraine. The analysis was carried out on the basis of industrial research lab in the Ukrainian State University of Railway Transport. Physical and chemical properties defined in terms of water content, solids content, viscosity kinematic, acid number and freezing temperature. Tribological properties

determined in terms of diameter spots of wear and critical load in accordance with ГОСТ 9490-75. The results of the analysis was conducted comparing obtained indicators with their limits, regulated instructions on the use of lubricants on rolling stock, which operate at UZ.

Found that the working fluid technology track contains a significant amount (0,8-0,9%) of fine water. Was conducted the analysis of the negative effects of such water in oil and metal surfaces. Such water is not retained in treatment systems. That's why was proposed the method of filtration system modernization.

Keywords: demolition, the real state of oil pollution oil water working fluid oxidation.

Вступ. Стан економіки України нерозривно пов'язаний із розвитком засобів виробництва товарів, засобів транспорту і засобів вантажно-розвантажувальних робіт. Зараз діє Закон України «Транспортна стратегія України до 2020 р.». Саме тому спостерігаємо постійне оновлення та модернізацію техніки.

Правилом останніх п'ятдесяти років став напрям заміни механічного та електричного привода на гідравлічний. Це зумовлено тим, що гідравлічний привод має ряд суттєвих переваг: простота управління, мала маса та габарити, високий ККД і високий рівень ремонтпридатності [1]. При модернізаціях устаткування намагаються максимально збільшити частку гідравлічного привода, оскільки це дає максимальний економічний ефект [2].

Однак застосування гідравлічного привода не позбавлено проблем. У першу чергу це якість робочого тіла – робочої рідини (РР). РР має відповідати ряду стандартизованих вимог: в'язкість, індекс в'язкості, кислотне число, чистота і наявність домішок, трибологічні характеристики та ін. [3]. Як правило, у якості РР в гідроприводі застосовують мінеральні оливи на нафтовій основі.

Досвід експлуатації гідроприводів, у тому числі й колійної техніки, показує, що основними причинами відмов гідроприводів є передчасна забрудненість РР домішками різної природи. Найбільша частка цих домішок являє собою тверді неметалічні частинки, продукти зношування, воду та повітря, а їх концентрація добігає до граничних значень швидше, ніж показники фізико-хімічних

властивостей РР. Таке явище призвело до впровадження в гідравлічні системи елементів очищення РР, а також введення в окремі рідини антипінних присадок. Незважаючи на досить досконалу техніку очищення РР від механічних домішок і повітря, питання видалення води є недостатньо вирішеним, особливо коли в РР накопичується диспергована вода, яка не може виділитись у баку. Для вирішення вказаної проблеми сьогодні застосовуються різні методи обробки мінеральних олив, однак вони або є енергоємними, або мають малу продуктивність, що обмежує перспективи їх застосування в якості бортових засобів очищення РР в гідравлічних системах колійної техніки.

Аналіз останніх досліджень та публікацій. Процес виготовлення мінеральної оливи полягає у відборі певної фракції вуглеводнів із нафти. При цьому з відібраної фази видаляють всі домішки, у тому числі і природні полярно активні речовини. Потім залежно від призначення мінеральної оливи в неї, як правило, додають поверхнево-активні речовини (присадки). Таким чином досягається підвищення протизносних властивостей оливи [4].

Однак у процесі технічної експлуатації оливи до її складу неминуче потрапляють тверді, рідкі та газоподібні домішки. Поява таких домішок призводить до погіршення властивостей оливи. Аналіз швидкості зносу залежно від забрудненості розглянуто в роботі [5], у якій доведено, що швидкість зносу нелінійно зростає залежно від класу чистоти оливи.

Методи боротьби з механічними домішками досягли оптимального рівня розвитку та повністю задовольняють вимоги щодо забезпечення чистоти РР. Але боротьбою з рідкими забруднювачами (водою) часто нехтують, притому що вода призводить до ряду негативних наслідків: водневий знос металічних поверхонь, підвищення агресивності водорозчинних кислот, підвищення здатності оливи до кавітації та експоненціальне пришвидшення старіння оливи [6–8].

Вода в оливі може знаходитись у вільному стані, розчиненому (знаходитись у колоїдному стані за рахунок полярних зв'язків) та емульсованому (желеподібний стан) [9–11]. Залежно від зовнішніх умов вона може частково переходити з одного стану в інший. Гігроскопічність олив залежить від температури, тиску та наявності поверхнево-активних речовин [12, 13].

Такі процеси ведуть до того, що оливи можуть викликати корозію металічних поверхонь за наявності в них кислот (найбільш небезпечні – низькомолекулярні кислоти), води, солей, а також присадок, агресивних по відношенню до деяких присадок [14].

На практиці мащення машин розрізняють корозію чорних і кольорових металів і сплавів. Ці види корозії зазвичай викликаються різними причинами [7]. Корозія чорних металів, як правило, виникає при потраплянні в оливу і на поверхні тертя води. Особливо часто це виникає при конденсації водяної пари. Корозія кольорових металів і сплавів переважно спричиняється дією органічних кислот, що утворюються в оливі в результаті її окиснення, а також деяких присадок, що вводяться в оливу для покращення, наприклад, антизадирних або інших експлуатаційних властивостей. Також корозію викликають неорганічні кислоти.

Вода, що потрапляє в оливу, стимулює корозійну агресивність кислот,

що в ній містяться (особливо низькомолекулярних), по відношенню до деталей із кольорових металів і сплавів, але сама по собі не є настільки активним корозійним фактором, як по відношенню до чорних металів.

Окрім окиснення металічних поверхонь тертя, відбувається також і окиснення самої оливи. Це є результатом контакту оливи з киснем, який потрапляє до оливи з повітря або в результаті дисоціації води. У процесі окиснення оливи змінюються фізико-хімічні властивості оливи [15], що призводить до погіршення експлуатаційних властивостей. Також змінюється і колір оливи, на чому базується фотометричний метод аналізу якості оливи [16].

Швидкість окиснення, а також характер новоутворених продуктів залежить від природи оливи, температури, тиску, величини поверхні контакту з повітрям, наявності сполук, які здатні сповільнювати або прискорювати процес, часу та ін. Найбільшу стійкість проти окиснення мають ароматичні вуглеводні, проміжне положення займають нафтеніві і найбільш схильні до окиснення – парафінові вуглеводні. Найбільш достовірною теорією окиснення є перекисна теорія, сформульована в 1896–1897 рр. одночасно та незалежно один від одного А. Н. Бахом та К. Енглером [7].

Важливим фактором окиснення олив є каталітична дія металів, з якими контактує олива. Надзвичайно активним каталізатором окиснення є свинець, меншою мірою залізо та інші метали та їх окисні. Алюміній практично не прискорює окиснення. Процес швидко прогресує при підвищенні температури.

Зміни в хімічному складі оливи в результаті окиснення можуть чинити і деяку позитивну дію. Кислоти та смоли, що виникають у них, є полярними сполуками, які покращують мастильні властивості оливи. Однак це покращення, зазвичай, незначне та носить випадковий характер,

внаслідок чого не може компенсуватись погіршення інших властивостей оливи, пов'язаних зі зміною її хімічного складу та зменшенням її строку служби [4].

Мета та задачі дослідження. Метою дослідження є встановлення реального стану якості РР гідроприводів колійних машин. Це дасть змогу встановити основні причини підвищеного зносу та поломок елементів гідропривода.

Для досягнення даної мети були поставлені такі завдання:

- провести випробування фізико-хімічних властивостей відібраних оливи;
- провести трибологічні випробування відібраних оливи;
- встановити причини підвищеного зносу елементів гідропривода.

Проведення експериментальних досліджень фізико-хімічних властивостей оливи

1. Досліджувані матеріали, обладнання та методика проведення дослідження. У період з вересня 2015 р. по жовтень 2015 р. співробітниками кафедри БКВРМ Українського державного університету залізничного транспорту

(УкрДУЗТ, Україна, м. Харків) разом зі співробітниками Харківської дистанції колії Південної залізниці ПЧ-3 був проведений відбір проб гідравлічних оливи різних колійних машин і аналіз вмісту води в цих оливах. Базою проведення таких досліджень була галузева науково-дослідна хімотологічна лабораторія (ГНДХЛ) при УкрДУЗТ.

Досліджувались такі проби: № 1 – олива ТП-22 із машини ПМГ із дна бака, напрацювання 6 місяців; № 2 – олива ТП-22 із машини ПМГ із гідроциліндра, напрацювання 6 місяців; № 3 – олива И-20 із машини МПТ-4 із гідромуфти, напрацювання 17 місяців.

У рамках визначення фізико-хімічних властивостей було проведено вимірювання кінематичної в'язкості при 40°C за ДСТУ ГОСТ 33-2003 та кислотного числа за ГОСТ 5985-79. Вимірювання об'ємної концентрації води проводились за ГОСТ 2477-65.

2. Результати досліджень фізико-хімічних і трибологічних властивостей оливи. Результати вимірювань фізико-хімічних властивостей зведено до табл. 1.

Таблиця 1

В'язкість і кислотне число відібраних показників

Проба оливи	Кінематична в'язкість при $T=40^{\circ}\text{C}$, $\text{мм}^2/\text{с}$	Бракувальні показники в'язкості, %	Кислотне число, мг КОН/г	Бракувальні показники кислотного числа, мг КОН/г
№ 1 – олива ТП-22 із машини ПМГ із дна бака, напрацювання 6 місяців	33,5	± 15	0,05	0,25
№ 2 – олива ТП-22 із машини ПМГ із гідроциліндра, напрацювання 6 місяців	34,0	± 15	0,05	0,25
№ 3 – олива И-20 із машини МПТ-4 із гідромуфти, напрацювання 17 місяців	32,5	± 15	0,03	0,25
Показники оливи ТП-22 за ГОСТ 9972-74	28,8-35,2	± 0	не більше 0,03	$>0,03$
Показники оливи И-20 за ГОСТ 20799-88	29-35	± 0	не більше 0,03	$>0,03$

Отже фізико-хімічні властивості досліджуваних олив знаходяться в допустимих межах. Також, оскільки в'язкість і кислотність сильно не змінились, можна сказати, що структура оливи знаходиться в первинному стані.

Результати досліджень вмісту води за об'ємним методом зведено до табл. 2 та рис. 1. Відомо, що для олив гідропривода граничне значення вмісту води складає 0,5 % [7]. Для гідропередач допускається наявність слідів води. Олива ТП-22 містить присадки, які покращують антиокиснювальні, деемульгуючі та антикорозійні властивості, але вона є нетиповою для гідроприводів більшості машин.

Слід зазначити, що відібрані проби відстоювались у лабораторних умовах протягом двох тижнів. Проби № 1 та № 2 зберегли характерний мутно-білий колір. Це свідчить про те, що вода в оливі знаходиться в дрібнодисперсному стані. При мікрофотографічному аналізі дисперсності було встановлено, що розміри крапель води становлять 2-5 мкм. Такі краплі у в'язкому середовищі під дією гравітаційних сил практично не відстоюються. Тому для видалення дрібнодисперсної води необхідно користуватись силами іншої природи, наприклад, силами електричних полів.

Таблиця 2

Результати досліджень вмісту води

Проба	Олива	Машина	Гідроагрегат	Вміст води в оливі, %
1	ТП-22	ПМГ	бак	0,8 – 0,9
2	ТП-22	ПМГ	гідроциліндр	0,4 – 0,5
3	И-20	МПП-4	гідромуфта	0,02 – 0,03

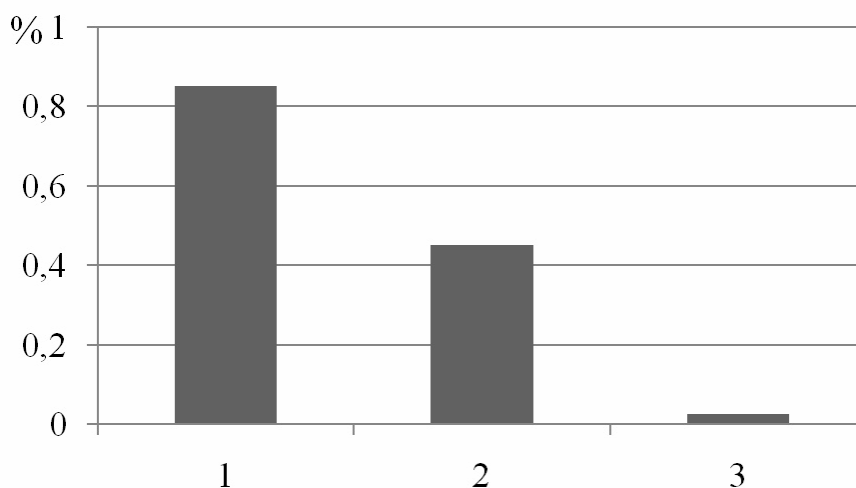


Рис. 1. Вміст води у пробах

Тобто можна стверджувати, що олива ТП-22 містить понаднормову кількість води. Частина цієї води добре емульсована, а решта – знаходиться у вигляді крупних осаджених крапель або у вигляді вільної води на дні бака.

Результати вимірювань вмісту механічних домішок зведені до табл. 3 та рис. 2. У гідроприводі дозволяється використовувати РР із класом чистоти не вище 14-го, тобто з масовою часткою механічних домішок не більше 0,008 %.

Таблиця 3

Результати досліджень вмісту механічних домішок

Проба	Олива	Машина	Гідроагрегат	Вміст механічних домішок, %, за ГОСТ 6370-83	Клас чистоти за ГОСТ 17216-2001
1	ТП-22	ПМГ	бак	0,001	11
2	ТП-22	ПМГ	гідроциліндр	0,031	16
3	И-20	МПТ-4	гідромуфта	0,001	11

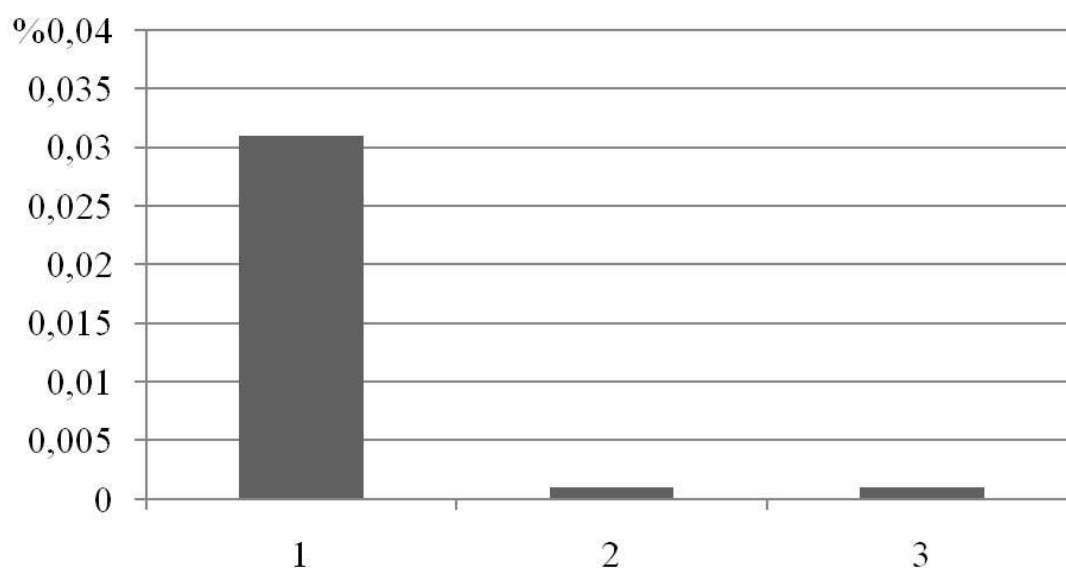


Рис. 2. Вміст механічних домішок у пробах

Понаднормова кількість механічних домішок у РР в гідроциліндрі та досить низька кількість механічних домішок у баку свідчать про те, що такі домішки досить швидко відстоюються. При активній роботі машини струмені оливи в баку зависають механічні домішки і таким чином вони потрапляють до робочих органів гідравлічної системи.

Мікроскопічний аналіз показав, що переважна більшість таких домішок має неметалічну природу абразивного характеру (пісок) з розміром частинок до 100 мкм. Це свідчить про те, що відбулось суттєве засмічення РР, а фільтри гідравлічної системи працюють незадовільно.

Трибологічні властивості зазвичай визначаються або за допомогою машини

тертя СМТ-2 із парою тертя колодка-ролик, або за допомогою чотирикулькової машини тертя ЧКМ. З метою виключення дії гідродинаміки та впливу матеріалів пар тертя було вирішено проводити випробування на ЧКМ. Випробування проводились за ГОСТ 9490-75.

Найбільш наглядним показником трибологічних характеристик є показник зносу. Результати вимірювань зведені до табл. 4 та рис. 3. Оскільки дія механічних домішок була цілком виключена шляхом фільтрування, можна стверджувати, що припущення, висловлене в роботі [6] (тривалий вплив води на оливу погіршує її трибологічні характеристики пропорційно її концентрації), є правильним.

Таблиця 4

Показники зносу відібраних проб

Відібрана проба	Діаметр кульки, мм			Середній діаметр, мм
Олива ТП-22, відібрана з дна бака	0,74	0,76	0,70	0,727
	0,76	0,72	0,68	
Зневоднена олива ТП-22, відібрана з дна бака	0,72	0,70	0,68	0,71
	0,72	0,72	0,72	
Олива ТП-22, відібрана з гідроциліндра	0,72	0,72	0,72	0,713
	0,72	0,70	0,70	
Зневоднена олива ТП-22, відібрана з гідроциліндра	0,68	0,66	0,72	0,697
	0,70	0,68	0,74	
И-20, відібрана з гідромуфти	0,76	0,78	0,68	0,733
	0,76	0,76	0,66	
Зневоднена олива И-20, відібрана з гідромуфти	0,72	0,72	0,74	0,737
	0,74	0,74	0,75	

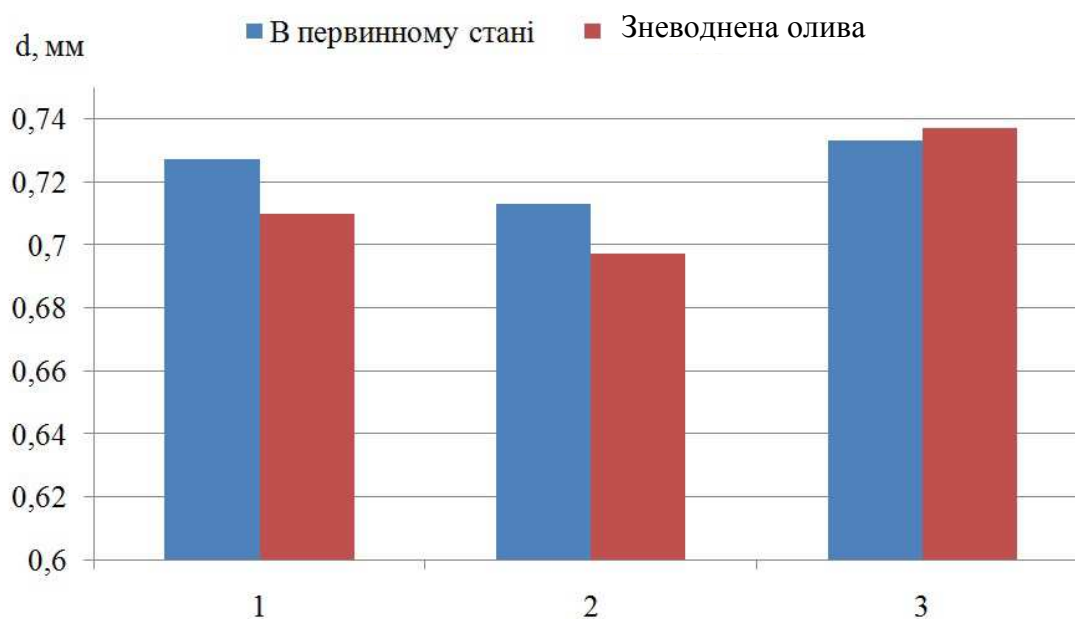


Рис. 3. Показник зносу в пробах

Проби оливи, що містили у своєму складі значну кількість води після дегідратації, показують кращі трибологічні характеристики. У випадку третьої проби И-20 із гідромуфти трибологічні характеристики майже не змінились.

Можна вважати, що розбіжність знаходиться в межах похибки вимірювання.

Проведені дослідження чітко показують, що олива ТП-22 із машини ПМГ не втратила своїх початкових властивостей. Однак фактичний вміст

твердих і рідких домішок суттєво погіршує її трибологічні характеристики.

Досвід експлуатації будівельної та колійної техніки, у якій застосовується гідропривод, показує, що проблема води є характерною для помірно-континентального клімату. Тобто циклічні перепади температур призводять до накопичення конденсованої води в гідросистемі. Вирішення даної проблеми потребує розроблення та впровадження енергоефективних очисників від води в різному виконанні: окремі очисні станції або додаткові навісні пристрої в гідросистемах. Існуючий досвід боротьби з водою в нафтопродуктах показує, що в перспективі будуть застосовуватись електрофільтри, оскільки вони споживають незначну кількість енергії та не мають розхідних матеріалів.

Висновки з дослідження й перспективи, подальший розвиток в даному напрямі

1. Стан РР колійної техніки залізниць України за вмістом води не завжди відповідає існуючим вимогам. Виходячи з цього виникає необхідність удосконалення

систем очищення РР, особливо від диспергованої води, тому що вона не відділяється у звичайних водовіддільниках і утворює досить стабільну емульсію з водою. Також питома площа контакту дрібнодисперсної води більша, ніж у крупнодисперсної, що пришвидшує окиснювальні процеси в РР.

2. Навіть незначна кількість води, до 1 %, при довготривалому знаходженні в РР значно погіршує її трибологічні властивості. В експлуатації корозійна дія води привносить нові види зношування. Так, при концентрації води 0,8-0,9 % в оливі ТП-22 пляма зносу становить 0,727 мм, а в цій же зневодненій оливі – 0,71 мм.

3. Існуючі системи очищення РР колійної техніки не розраховані на боротьбу з дрібнодисперсною водою, тому в подальшому необхідно провести модернізацію таких систем. Необхідно ввести новий елемент у гідросистему для дегідратації оливи. Найбільш перспективним з точки зору енергоефективності є метод електроочищення, який може бути використаний у бортових очисниках.

Список використаних джерел

1. Добронравов, С.С. Строительные машины и основы автоматизации [Текст] / С.С. Добронравов, В.Г. Добронравов. – М.: Высшая школа, 2001. – 575 с.
2. Путьевые машины [Текст] / М.В. Попович, В.М. Бугаєнко, Б.Г. Волковойнов [и др.]; под. ред. М.В. Поповича, В.П. Бугаєнко. – М.: ФГБОУ «Учебно-методический центр по образованию на железнодорожном транспорте», 2012. – 820 с.
3. Руднев, В. К. Повышение эксплуатационной надежности гидроприводов строительных и дорожных машин [Текст] / В.К. Руднев, Е.Н. Лысиков, Е.С. Венцель. – К., 1989. – 136 с.
4. Мышкин, Н. К. Трение, смазка, износ. Физические основы и технические приложения трибологии [Текст] / Н.К. Мышкин, М.И. Петроковец. – М.: ФИЗМАТЛИТ, 2007. – 368 с.
5. Voronin, S. V. Effects of Electric and Magnetic Fields on the Behavior of Oil Additives [Text] / S.V. Voronin, A.V. Dunaev // Republic of Belarus, Gomel: Journal of Friction and Wear, 2015, Vol. 36, No. 1. – P. 33-39.
6. Коваленко, В. П. Очистка нефтепродуктов от загрязнения [Текст] / В.П. Коваленко, В.Е. Турчаников. – М.: Недра, 1990. – 160 с.
7. Некрасов, Ю. Г. Основы химмотологии автомобильных топлив и масел [Текст]: учеб. пособие / Ю.Г. Некрасов, Е.В. Романова, О.А. Елисеева; Алт. гос. техн. ун-т, БТИ. – Бийск: Изд-во Алт. гос. техн. ун-та, 2008. – 129 с.

8. Сафонюк, І. Ю. Вплив вмісту води у гідравлічній оливі на знос деталей тертя засобів транспорту [Текст] / І. Ю. Сафонюк // 36. наук. праць Укр. держ. ун-ту залізнич. трансп. – Харків: УкрДУЗТ, 2016. – Вип. 159. – С. 103–108.
9. Вюцкий, С. С. Курс коллоидной химии [Текст] / С.С. Вюцкий. – 2-е изд. – М.: Химия, 1975. – 512 с.
10. Coalescence Behavior of Pure and Natural Fat Droplets Characterized via Micromanipulation [Text] / Thiel, A.E., Hartel, R.W., Spicer, P.T. et al. // Journal of the American Oil Chemists' Society, 2016. – P. 1-11.
11. Particle-Stabilized Emulsions Comprised of Solid Droplets [Text] / J. Giermanska-Kahn, V. Laine, S. Arditty, V. Schmitt, and F. Leal-Calderon. France, Langmuir, 2005. – P. 4316–4323.
12. Nanoparticle Assemblies as Probes for Self-Assembled Monolayer Characterization: Correlation between Surface Functionalization and Agglomeration Behavior [Text] / Bernhard Feichtenschlager, Silvia Pabisch, Herwig Peterlik, and Guido Kickelbick. France, Langmuir, 2012. – P. 741–750.
13. Binks, B. P. Particles as surfactants-similarities and differences [Text] / Current Opinion in Colloid & Interface Science, March 2002. – P. 21-41.
14. Руднев, В. К. Эксплуатационные материалы для строительных и дорожных машин [Текст] / В.К. Руднев, Е.С. Венцель, Е.Н. Лысков. – К., 1993. – 238 с.
15. Anand Kumar Tripathi, Ravikrishnan Vinu. Characterization of Thermal Stability of Synthetic and Semi-Synthetic Engine Oils [Text] / Lubricants, 2015, 3(1). – P. 54-79.
16. Photometric Monitoring of Thermal Stability of Motor Oils and Effect of Thermal Degradation Products on Antiwear Properties [Text] / Koval'skii, B.I., Sokol'nikov, A.N., Petrov, O.N. // Chem Technol Fuels Oils July 2016, Volume 52, Issue 3. – P. 318–324.

Воронін Сергій Володимирович, д-р техн. наук, доцент, завідувач кафедри будівельних, колійних і вантажно-розвантажувальних машин Українського державного університету залізничного транспорту. E-mail: voronin.sergey@ukr.net. Тел. (057) 730-10-66; (095) 500-81-59.

Сафонюк Іван Юрійович, асистент кафедри будівельних, колійних і вантажно-розвантажувальних машин Українського державного університету залізничного транспорту. E-mail: jonisaf@meta.ua. Тел.: (093) 303-31-38, (096) 851-31-37.

Онопрейчук Дмитро В'ячеславович, канд. техн. наук, доцент кафедри будівельних, колійних і вантажно-розвантажувальних машин Українського державного університету залізничного транспорту. E-mail: dmytroonopriychuk@ukr.net. Тел. (097) 984-05-84.

Стефанов Володимир Олександрович, канд. техн. наук, доцент, кафедри будівельних, колійних і вантажно-розвантажувальних машин Українського державного університету залізничного транспорту. E-mail: vstef@ukr.net. Тел. (057) 783-91-59.

Суранов Олексій Олексійович, аспірант кафедри будівельних, колійних і вантажно-розвантажувальних машин Українського державного університету залізничного транспорту. E-mail: lhonet.hneu@gmail.com. Тел. (067) 697-41-36.

Sergey Voronin Doctor of Sciences in Technology, Associate Professor, Head of Department Department of «Construction, track and handling machines» Ukrainian State University of Railway Transport. E-mail: voronin.sergey@ukr.net. Tel.: (057) 730-10-66; (095) 500-81-59.

Saphonyuk Ivan, assistant Department of «Construction, track and handling machines» Ukrainian State University of Railway Transport. E-mail: jonisaf@meta.ua. Tel.: (093) 303-31-38; (096) 851-31-37.

Onopriychuk Dmytro candidate of Technical Sciences, associate professor Department of «Construction, track and handling machines» Ukrainian State University of Railway Transport. E-mail: dmytroonopriychuk@ukr.net. Tel.: (097) 984-05-84.

Stefanov Volodymyr, candidate of Technical Sciences, associate professor Department of «Construction, track and handling machines» Ukrainian State University of Railway Transport. E-mail: vstef@ukr.net. Tel.: (057) 783-91-59.

Suranov Oleksiy, graduate student Department of «Construction, track and handling machines» Ukrainian State University of Railway Transport/ E-mail: lhonet.hneu@gmail.com. Tel.: (067) 697-41-36.

Стаття прийнята 03.10.2016 р.