

УДК 629.017

Сасов О.О., к.т.н., Янчук С.М., магістрант

Дніпродзержинський державний технічний університет

## ДОСЛІДЖЕННЯ ЗМІНИ ФІЗИКО-ХІМІЧНИХ ВЛАСТИВОСТЕЙ МОТОРНИХ МАСТИЛ ТА ВИЗНАЧЕННЯ ЇХ ТЕРМІНУ ЕКСПЛУАТАЦІЇ ЗА ФАКТИЧНИМ СТАНОМ

*Проведено експериментальні дослідження зміни фізико-хімічних та експлуатаційних властивостей моторних мастил при експлуатації вантажних автомобілів-тягачів MAN 26.464 та МАЗ 543208 для уточнення строків заміни. Визначена відповідність зразків мастил, що досліджувались, заявленим виробниками основним фізико-хімічним показникам. Побудовані діаграми та графіки залежностей зміни показників якості моторних мастил від часу їх роботи в двигунах вантажних автомобілів. Визначені бракувальні показники при досягненні яких моторне мастило потребує заміни. За зміною фізико-хімічних показників свіжого і відпрацьованого мастила проведена оцінка якості моторних мастил і ступінь їх спрацьовування. Визначені інтервали заміни для моторних мастил Mobil Delvac MX Extra 10W40 при використанні їх в двигунах MAN D28 та моторних мастил Shell Rimula R5 M 10W40 при використанні в двигунах ЯМЗ 7511 за їх фактичним станом.*

**Ключові слова:** моторне мастило, ресурс двигуна, пакет присадок, кінематична в'язкість, лужне число, оптична щільність, діелектрична проникність.

**Постановка проблеми.** Ефективність експлуатації транспортних засобів можна оцінити по собівартості здійсненої ними роботи, яка залежить від витрат на паливо-мастильні матеріали, витрат на ремонт та технічне обслуговування. Знижуючи ці витрати шляхом оптимізації строків заміни моторних мастил, можна значно підвищити ефективність експлуатації рухомого складу, одночасно із цим підвищуючи їх експлуатаційну надійність. Строки заміни моторних мастил за пробігом або напрацюванням які рекомендує завод виробник не завжди достатньо обґрунтовані. Основні фізико-хімічні показники якості мастила не завжди досягають граничних значень при досягненні рекомендованого інтервалу заміни і моторне мастило придатне до подальшої експлуатації.

Уточнення строку заміни моторних мастил суттєво залежить від їх початкового потенціалу фізико-хімічних властивостей та швидкості його вичерпання, умов експлуатації автотранспорту, а також від бракувальних показників якості, які відображають фактичний стан мастила під час експлуатації рухомого складу.

Ресурс та надійність двигунів в значній мірі залежать від того, в якій мірі використовуване моторне мастило по всім характеристикам відповідає в даних експлуатаційних умовах потрібним вимогам. Фахівці по мастильним матеріалам вважають, що 80% зносу двигуна припадає на останні 20% терміну служби мастила, тому основним завданням є визначення оптимальних інтервалів заміни мастила в двигуні.

Ефективність і довговічність роботи моторного мастила залежить від пакету присадок в ньому та по мірі їх виробітку мастило втрачає свої властивості.

Особливо важливим є питання про раціональне використання моторних мастил. Так проведені багато чисельні тести моторних мастил дуже часто показують, що відпрацьоване мастило за всіма показниками не потребує заміни і зберегло запас експлуатаційних властивостей навіть при пробігу в 12 тисяч км при рекомендованому інтервалі заміни мастила в 10 тис. км. Воно як і раніше працездатне і може виконувати свої основні функції. А низький вміст заліза і міді в відпрацьованому моторному мастилі говорить як про хороший стан двигуна з пробігом 211 тис. км, так і про те, що мастило чудово захищало двигун від зносу і пошкоджень. Так малі терміни експлуатації моторного мастила призводять до його перевитрати, а великі – до зменшення ресурсу двигуна та його надійності.

**Аналіз основних досліджень і публікацій.** В багатьох роботах розглядаються питання уточнення строків заміни моторних мастил, а саме А.Б. Григорова, С.І. Наглюка, П.В. Карножицького, О.О. Сасова [1-6]. Робота Н.І. Скіндера, Ю.А. Гур'янова [7] присвячені необхідності систематичного контролю якості моторних мастил, що працюють. Роботи В.А. Войтова, В.А. Мазепи, С.Ю. Ярохно, [8,9] присвячені обґрунтуванню експлуатаційних вимог до підбору та експлуатації моторних мастил по технічному стану в засобах транспорту.

Проведений аналіз літературних джерел показав, що розробка методів визначення спрацювання присадок в моторних мастилах є складною проблемою, вирішення якої має велике практичне значення, а підвищення ефективності експлуатації автотранспорту шляхом уточнення строків заміни моторних мастил є дуже актуальним завданням особливо в умовах зростаючих цін на нафтопродукти в Україні.

**Метою роботи** є визначення закономірностей та вплив спрацювання присадок в моторних мастилах на зміну їх фізико-хімічних та експлуатаційних властивостей під час експлуатації вантажних автомобілів, що дозволить прогнозувати термін експлуатації моторних мастил за їх фактичним станом для підвищення ефективності експлуатації рухомого складу шляхом уточнення строку заміни та раціонального використання паливно-мастильних матеріалів.

**Матеріали досліджень.** Для вирішення основного завдання, а саме визначення оптимального моменту заміни моторного мастила за його станом, а не через встановлений інтервал, для раціонального використання мастильних матеріалів необхідно провести експериментальні дослідження які дозволять встановити закономірності зміни їх фізико-хімічних властивостей від спрацювання в них присадок.

В даний час найкращим способом оцінки придатності мастил визнаний метод порівняння аналізів вихідного мастила і відпрацьованого. По аналізах фізико-хімічних показників свіжого і відпрацьованого масти можна оцінити якість моторного мастила і ступінь його спрацювання, а також отримати достатньо повну картину його роботи в двигуні.

Для визначення зміни фізико-хімічних властивостей моторних мастил під час їх експлуатації були взяті проби з трьох двигунів вантажних автомобілів-тягачів MAN 26.464, 2001 року випуску загальним пробігом від 380 тис. км до 400 тис.км які обладнанні чотиритактними дизельними двигунами D 28 з турбонадувом та проміжним охолодженням повітря в яких було залито моторне мастило Mobil Delvac MX Extra 10W40 та три автомобіля-тягача МАЗ 543208, 2005 року випуску загальним пробігом від 213 тис. км до 280 тис.км які обладнанні чотиритактними дизельними двигунами ЯМЗ-7511 з турбонадувом та проміжним охолодженням повітря в яких було залито моторне мастило Shell Rimula R5 M 10W40 які працюють у автослужбі ТОВ «АДА-Транссервіс» м. Дніпродзержинськ.

Рекомендований фірмою MAN інтервал заміни моторного мастила в двигунах D28 автомобілів MAN 26.464 складає для групи обслуговування C tot - через 12 місяців або 400 робочих годин або 20000 км пробігу [10]. Для двигунів ЯМЗ-7511 автомобілів МАЗ 543208 згідно інструкція з експлуатації та технічного обслуговування інтервал заміни мастила складає 1000 робочих годин або 50000 км пробігу або через 12 місяців.

Експериментальні дослідження проводились в лабораторії «палив та мастил» кафедри «Автомобілі та автомобільне господарство» Дніпродзержинського державного технічного університету.

На першому етапі експериментальних досліджень була визначена відповідність зразків мастил, що досліджувались, заявленим виробниками основним фізико-хімічним показникам. Результати досліджень показали відповідність основних фізико-хімічних показників моторних мастил, що досліджувались заявленим показникам фірм виробників, що підтверджує їх якість, та точність лабораторних досліджень (похибка не перевищує 3,2%).

Після цього моторні мастила були залиті в двигуни автомобілів при їх черговому технічному обслуговуванні.

Проби мастила для дослідження збирались через кожні 10 тис. км. Порядок відбору проб визначався згідно з ГОСТ 263780-84. Для відібраних проб визначались наступні показники якості мастил: в'язкість кінематична при 100 °С (метод випробування ASTM D445), температура спалаху у відкритому тиглі (ASTM D 92), лужне число (ASTM D 2896), кислотне число (ISO 6618-96), щільність при 20°C (ASTM D 4052), сульфатна зольність (ASTM D482), кількість Fe (по методу Лурье), діелектрична проникність  $\epsilon$  (вимірювалась за допомогою резонансного методу.), оптична щільність E (фотоелектронколіориметричним методом на приладі ФЕК-М) та вміст води (за методом Діна-Старка). Отримані показники порівнювались з бракувальними характеристиками і якщо значення хоча б одного з характеристичних параметрів якості досягає величин граничних показників, то моторне мастило потрапляє в категорію відпрацьованих мастил та не придатне для подальшої експлуатації.

Для аналізу отриманих експериментальних даних були побудовані діаграми та графіки залежностей зміни показників якості моторних мастил рис. 1-6.

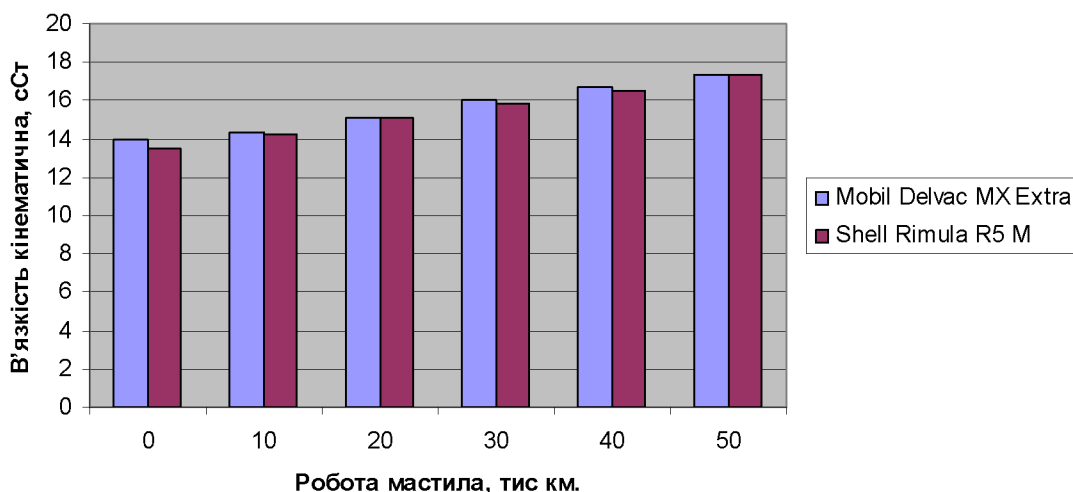


Рис. 1. Діаграма зміни кінематичної в'язкості моторних мастил 10W40 від тривалості їх роботи в двигунах вантажних автомобілів

Кінематична в'язкість моторних мастил Mobil Delvac MX Extra 10W40 та Shell Rimula R5 M 10W40 за 50 тис.км роботи збільшилась в середньому на 19,4% та 22 % відповідно (допустиме значення – збільшення на 15%), що говорить про інтенсивний розвиток старіння базового мастила та повного спрацювання полімерного загущувача в моторному мастилі Mobil Delvac MX Extra та в мастилі Shell Rimula R5 M при 40 тис.км пробігу та вихід за межі класу кінематичної в'язкості за SAE і досягає 16,76 сСт та 16,54 сСт відповідно (для моторних мастил класу 10W40 за SAE кінематична в'язкість при 100°C повинна знаходитись в межах від 12,5 сСт до 16,3 сСт).

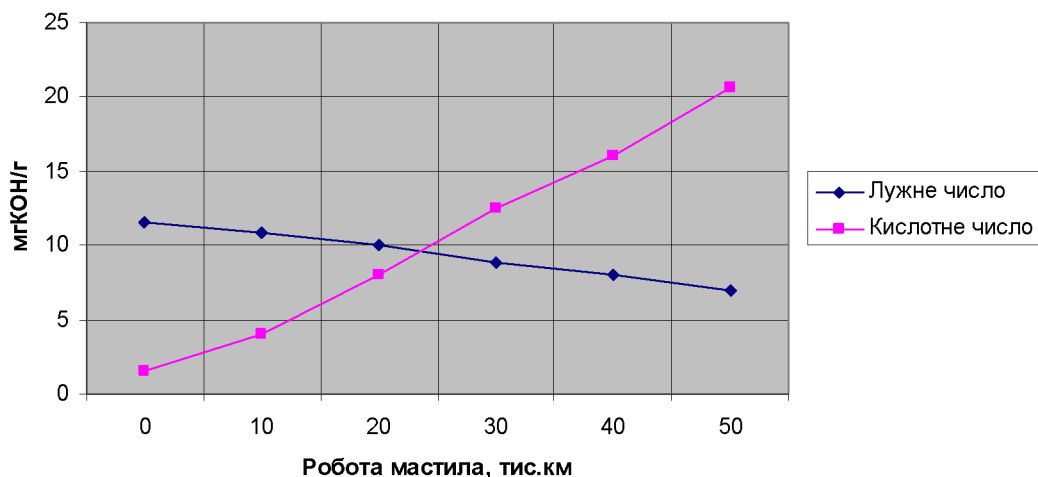


Рис. 2. Графік залежності зміни лужного числа та кислотного числа моторного мастила Mobil Delvac MX Extra від тривалості його роботи в двигунах MAN D28

Велике значення лужного числа 11,6 мгКОН/г у нового моторного мастила Mobil Delvac MX Extra вказує на наявність в ньому насиченого пакету присадок призначених для нейтралізації продуктів окислення (мийно-диспергуючих присадок). З рисунку 2 видно що лужне число моторного мастила зменшується при його роботі в двигуні протягом 50 тис. км в середньому на 40,5%, а свого критичного значення в 30% досягає при 40 тис. км пробігу. Значна зміна лужного числа говорить про невелику довговічність пакету присадок та швидке його спрацювання.

Кислотне число в процесі роботи мастила з початку зменшується так, як спрацьовуються присадки які в більшості мають кислотну природу, а потім починає збільшуватись з накопиченням в мастилі кислотних з'єднань та зменшенням ефективності роботи присадок. При рівності лужного та кислотного числа, що досягається при 23-24 тис.км пробігу, моторне мастило потребує заміни так, як нейтралізуючі властивості мастила зменшуються, а кількість кислотних з'єднань збільшується і негативно впливає на ресурс двигуна.

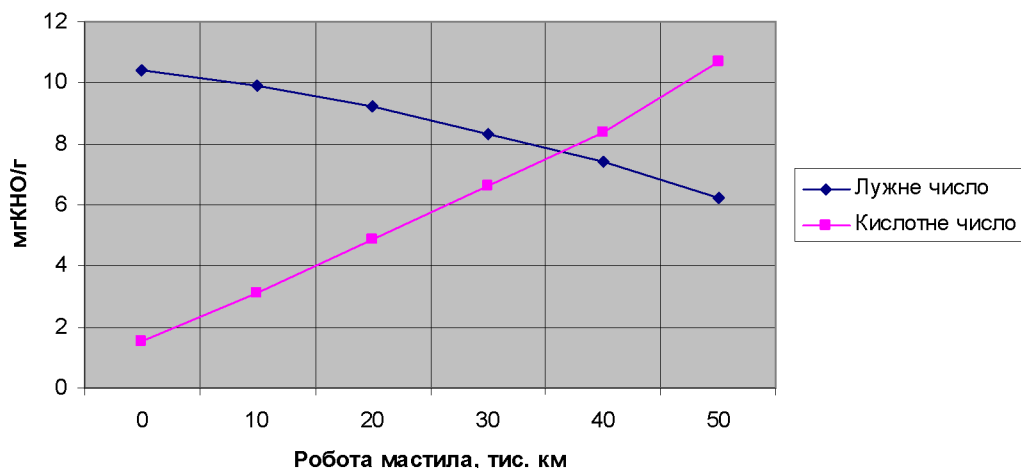


Рис. 3. Графік залежності зміни лужного числа та кислотного числа моторного мастила Shell Rimula R5 M від тривалості його роботи в двигунах ЯМЗ 7511

Значення лужного числа нового моторного мастила Shell Rimula R5 M складає 10,4 мгКОН/г і говорить про менш насичений пакет присадок, що на 10 % менше у порівнянні з моторним мастилом Mobil Delvac MX Extra.

З рисунку 3 видно що лужне число моторного мастила зменшується при його роботі в двигуні протягом 50 тис. км в середньому на 40,4%, а свого критичного значення в 30% досягає при 40 тис. км пробігу. Значна зміна лужного числа говорить про невелику довговічність пакету присадок та швидке його спрацювання.

Рівність лужного та кислотного числа досягається при 37-38 тис.км пробігу говорить про потребу заміни моторного мастила за цим параметром якості, а менше його абсолютне значення 10,68 мгКОН/г після 50 тис км. пробігу говорить про кращі умови роботи мастила в двигуні і про більший його залишковий ресурс на 52% у порівнянні з моторним мастилом Mobil Delvac MX Extra.

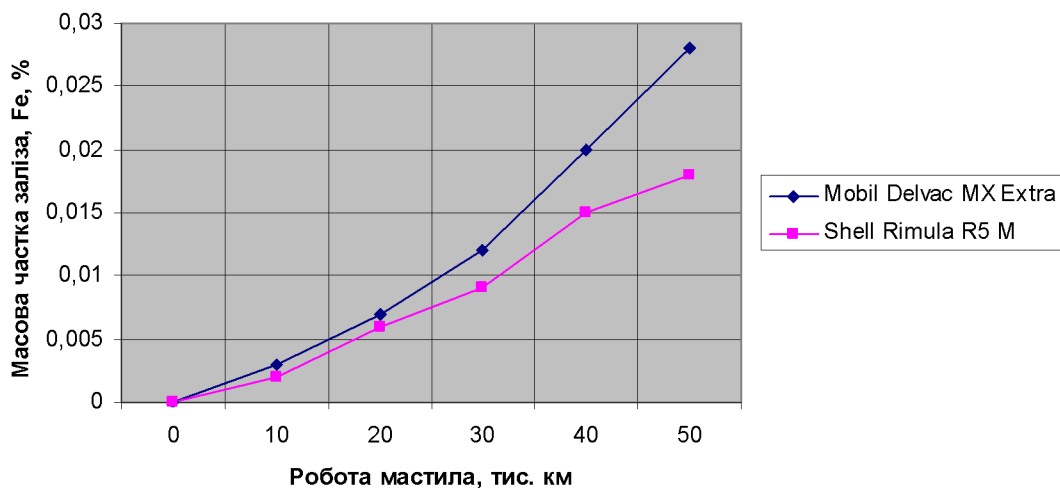


Рис. 4. Графік залежності зміни масової частки заліза в моторних мастилах Mobil Delvac MX Extra та Shell Rimula R5 M від тривалості їх роботи в двигунах вантажних автомобілів

За величиною вмісту заліза в мастилі оцінюють необхідність заміни моторного мастила і його протизносні властивості. З рисунка 4 видно, що масова частка заліза в моторному мастилі Mobil Delvac MX Extra збільшилась на 0,028% за 50 тис. км пробігу, що свідчить про спрацювання протизносних присадок і досягає граничного стану (0,01% для дизельних двигунів) за цим показником якості за 30 тис.км пробігу і потребує заміни.

Масова частка заліза в моторному мастилі Shell Rimula R5 M збільшилась на 0,018% за 50 тис. км пробігу, що свідчить про більшу довговічність протизносних присадок у порівнянні з моторним мастилом Mobil Delvac MX Extra і досягає граничного стану (0,01% для дизельних двигунів) за цим показником якості за 40 тис.км пробігу.

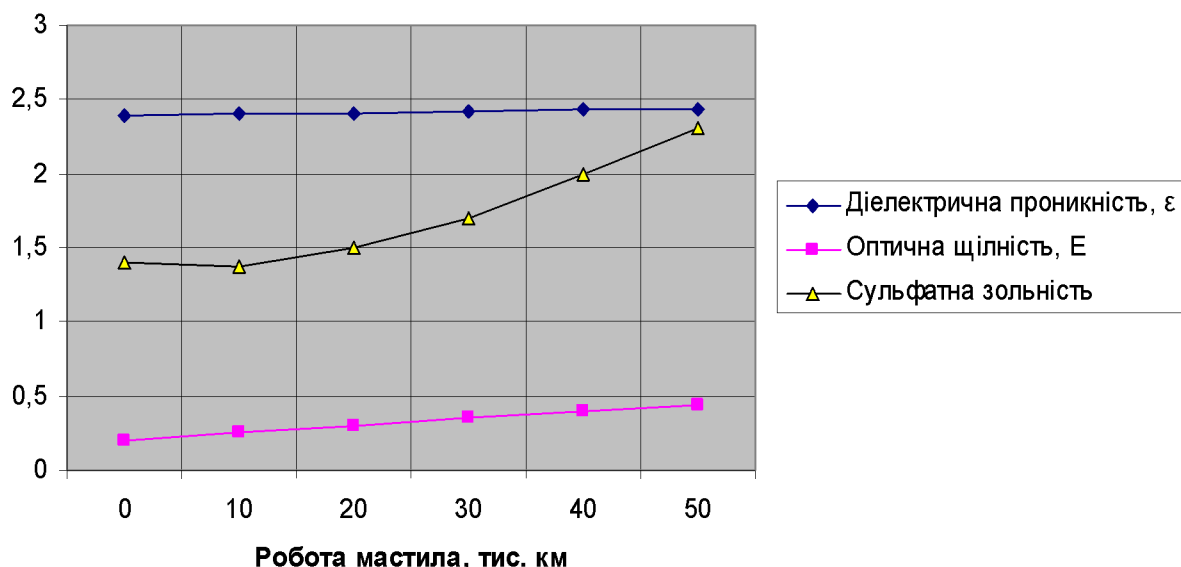


Рис. 5. Графік залежності зміни діелектричної проникності, сульфатної зольності та оптичної щільності моторного мастила Mobil Delvac MX Extra від тривалості його роботи в двигунах вантажних автомобілів

З рисунка 5 видно, що діелектрична проникність  $\epsilon$  моторного мастила Mobil Delvac MX Extra збільшилась на 2 % за 50 тис. км експлуатації в двигуні внутрішнього згоряння. Це свідчить про те, що мастило спрацьовується, поступово втрачає властивості діелектрика і в ньому накопичуються продукти зносу деталей двигуна. Середнє значення параметра  $\epsilon$  є типовим для моторного мастила з класом в'язкості 10W40 за класифікацією SAE і залежить від кількості металевих присадок.

Показник діелектричної проникності моторних мастил найтісніше пов'язаний з таким фізико-хімічним показником якості, що характеризує кількість металовмісних присадок в мастилі, як сульфатна зольність, яка збільшилась на 0,9 % за 50 тис. км пробігу.

Застосовуючи відносну діелектричну проникність моторного мастила в якості інтегрального бракувального показника, що характеризує комплексні зміни в його складі встановлено, що мастило Mobil Delvac MX Extra потребує заміни при значенні  $\epsilon = 2,4143$  так як при цьому три показника якості досягають критичного значення, а саме: температура спалаху у відкритому тиглі, кислотне число та масова частка заліза.

Оптична щільність моторного мастила збільшилась на 45% за 50 тис. км пробігу та характеризує накопичення в мастилі твердих і напіврідких продуктів старіння.

За цим показником якості моторне мастило Mobil Delvac MX Extra потребує заміни при значенні оптичної щільності  $E = 0,345$ .

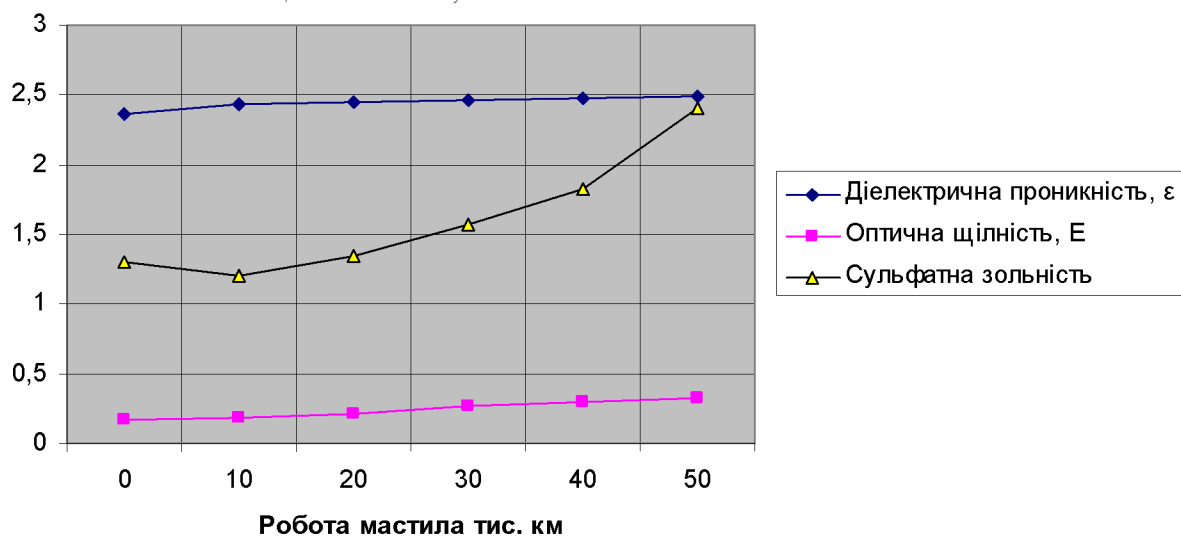


Рис. 6. Графік залежності зміни діелектричної проникності, сульфатної зольності та оптичної щільності моторного мастила Shell Rimula R5 M від тривалості його роботи в двигунах вантажних автомобілів

З рисунка 6 видно, що діелектрична проникність  $\epsilon$  моторного мастила Shell Rimula R5 M збільшилась на 5 %, сульфатна зольність на 1,1 % за 50 тис. км пробігу. Мастило Shell Rimula R5 M потребує заміни при значенні  $\epsilon = 2,4598$  так як при цьому один з показників якості досягає критичного значення, а саме: температура спалаху у відкритому тиглі.

Оптична щільність моторного мастила збільшилась на 50% за 50 тис. км і за цим показником якості потребує заміни при значенні оптичної щільності  $E = 0,268$ .

**Висновки.** 1. Результати експериментальних досліджень спрацювання присадок та зміни фізико-хімічних властивостей моторних мастил показують, що жоден з показників якості моторного мастила Mobil Delvac MX Extra 10W40 при його експлуатації у двигунах MAN D 28 протягом 20 тисяч кілометрів (400 мото-годин) не вийшов за межі граничних величин тобто воно не потребує заміни, як це рекомендовано фірмою MAN, а може експлуатуватися до 25 – 30 тис.км., що дозволить автотранспортному підприємству заощадити кошти та ефективно використовувати моторні мастила. При 30 тис.км пробігу (600 мото-годин) мастило Mobil Delvac MX Extra потребує заміни так як три показники якості перевищили граничні значення, а саме: температура спалаху у відкритому тиглі зменшилась в середньому на 11,4 %, що перевищує граничне зменшення на 10%; кислотне число зрівнюється та перевищує лужне число; масова частка Fe перевищила дозволени в середньому на 0,013% . 2 Для моторного мастила Shell Rimula R5 M 10W40 при його експлуатації у двигунах ЯМЗ -7511 показники якості знаходяться в дозволених межах до 30 тис.км пробігу (600 мото-годин), але за температурою спалаху у відкритому тиглі, яка зменшилась в середньому на 9% майже досягла граничного зменшення в 10%, що дає підставу рекомендувати його замінити, хоча для двигунів ЯМЗ-7511 автомобілів МАЗ 543208 згідно інструкція з експлуатації та технічного обслуговування рекомендований інтервал заміни мастила складає 1000 робочих годин або 50000 км пробігу або через 12 місяців.

#### Інформаційні джерела

1. Григоров А.Б. Уточнение сроков смены моторных масел при их эксплуатации в автобусах «Богдан-А091» и «ПАЗ-4234». [Текст] / А.Б. Григоров, С.И. Наглюк, П.В. Карножицкий // Журнал «Автомобильный транспорт». Выпуск № 23 / 2008. – 4с.
2. Григоров А.Б. Диэлектрическая проницаемость как комплексный показатель, характеризующий изменения качества моторных масел в процессе их эксплуатации. [Текст] / А.Б. Григоров, П.В. Карножицкий, С.А. Слободской // Вестник НТУ «ХПИ». – 2006. - №25. – С.169-175.
3. Григоров А.Б. Изменение диэлектрической проницаемости дизельных моторных масел в эксплуатации. [Текст] / А.Б. Григоров, П.В. Карножицкий, С.И. Наглюк // Автомобильный транспорт. – 2007. - №20. – С.95-97.
4. Сасов О.О., Старчик К.В. Оцінка якості моторних мастил при експлуатації автобусів малої і середньої місткості. [Текст] / О.О. Сасов, К.В. Старчик. // Математичні проблеми технічної механіки-2011. Міжнародна наукова конференція 13-15 квітня 2011 р. Том 2. Дніпропетровськ-Дніпродзержинськ, 2011. 2с.
5. Сасов О. О., Коровкін А. А. Дослідження зміни якості моторних мастил при їх експлуатації в автобусах малої і середньої місткості. [Текст] / О.О. Сасов, А.А. Коровкін. // Вісник Національного технічного університету «ХПІ». Збірник наукових праць. Серія: Автомобіле- та тракторобудування. – Х.: НТУ «ХПІ». – 2015. – № 8 (1117). – С 102 – 107.
6. Наглюк, И.С. Оценка качества моторных масел при эксплуатации большегрузных самосвалов. [Текст] / И.С. Наглюк // Вісник Донецького інституту автомобільного транспорту № 3 – Донецьк, 2009. С. 22-26.
7. Скиндер Н.И., Гурьянов Ю.А. О необходимости систематического контроля качества работающих моторных масел. [Текст] / Н.И. Скиндер, Ю.А. Гурьянов // Химия и технология топлив и масел. – 2003. - №5 - С.28-30.
8. Войтов В.А. Системный подход при подборе моторных масел к ДВС и определение сроков их смены. [Текст] / В.А. Войтов, В.А. Мазепа, С.Ю. Ярошно //Вестник Харьковского национального автомобиле-дорожного университета. №39/2007. – 4с.
9. Войтов В.А., Мазепа В.А. Критериальный подход для оценки снижения служебных свойств моторных масел в процессе эксплуатации и определение сроков их смены. [Текст] / В.А. Войтов, В.А. Мазепа // Повышение надежности восстанавливаемых деталей машин: Сб. научн. Тр. Харьков: ХГТУСХ. – 2003. – Вып.14. – с.104-108.

10. Требования по применению масел и допуски автопроизводителей MAN. [Электронный ресурс]. Режим доступа: <http://www.autolub.info/dopuski/man.shtml>.

**Сасов А.А.**, к.т.н., **Янчук С.М.**, магистрант

Днепродзержинский государственный технический университет

**ИССЛЕДОВАНИЕ ИЗМЕНЕНИЯ ФИЗИКО-ХИМИЧЕСКИХ СВОЙСТВ  
МОТОРНЫХ МАСЕЛ И ОПРЕДЕЛЕНИЯ ИХ СРОКА ЭКСПЛУАТАЦИИ ПО  
ФАКТИЧЕСКОМУ СОСТОЯНИЮ**

*Проведены экспериментальные исследования изменения физико-химических и эксплуатационных свойств моторных масел при эксплуатации грузовых автомобилей-тягачей MAN 26.464 и MAZ 543208 для уточнения сроков замены. Определено соответствие образцов масел, которые исследовались, заявленным производителями основным физико-химическим показателям. Построены диаграммы и графики зависимостей изменения показателей качества моторных масел от времени их работы в двигателях грузовых автомобилей. Определены браковочные показатели при достижении которых моторное масло нуждается в замене. По изменению физико-химических показателей свежего и отработанного масла проведена оценка качества моторных масел и степень их срабатывания. Определенные интервалы замены для моторных масел Mobil Delvac MX Extra 10W40 при использовании их в двигателях MAN D28 и моторных масел Shell Rimula R5 M 10W40 при использовании в двигателях ЯМЗ 7511 по их фактическому состоянию.*

**Ключевые слова:** моторное масло, ресурс двигателя, пакет присадок, кинематическая вязкость, щелочное число, оптическая плотность, диэлектрическая проницаемость.

**A. Sasov, Ph.D., S. Yanchuk**, undergraduate

Dneprodzerzhinsk state technical university

**THE STUDY OF CHANGE OF MOTOR OILS PHYSICOCHEMICAL PROPERTIES  
AND DETERMINATION OF THEIR OPERATION LIFE ACCORDING TO ACTUAL  
CONDITION**

*Experimental studies of changes of physicochemical and performance attributes of motor oils during operation of truck tractors MAN 26.464 and MAZ 543208 are carried out to clarify the replacement age. The correspondence of studied oil samples to claimed main physicochemical parameters by manufacturers is determined. Diagrams and graphs of dependencies of quality indicators changes of motor oils according to their work time in truck engines are constructed. The acceptance rates having been reached at the motor oil needs to be changed are determined. The estimation of motor oils and the rate of their wear is appraised according to physicochemical parameters of fresh and worked out oil. The replacement intervals for motor oils Mobil Delvac MX Extra 10W40 during the use in engines MAN D28 and motor oil Shell Rimula R5 M 10W40 during the use in engines YaMZ 7511 according to their condition are determined.*

**Keywords:** motor oil, engine life, additive package, kinematic viscosity, base number, optical density, dielectric permittivity.