

**ХАРКІВСЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ АВТОМОБІЛЬНО-ДОРОЖНИЙ  
УНІВЕРСИТЕТ**

**Григоров Андрій Борисович**

УДК 629.017

**ПІДВИЩЕННЯ ЕФЕКТИВНОСТІ ЕКСПЛУАТАЦІЇ  
АВТОБУСІВ ОПТИМІЗАЦІЄЮ СТРОКІВ ЗАМІНИ  
МОТОРНИХ ОЛИВ**

Спеціальність 05.22.20 – експлуатація та ремонт засобів транспорту

Автореферат дисертації на здобуття наукового ступеня  
кандидата технічних наук

Харків – 2009

Дисертація є рукопис.

Робота виконана у Національному технічному університеті «Харківський політехнічний інститут» Міністерства освіти і науки України.

**Науковий керівник:** кандидат технічних наук, доцент  
**Карножицький Павло Володимирович,**  
Національний технічний університет «ХПІ», доцент кафедри  
технології палива та вуглецевих матеріалів

**Офіційні опоненти:** доктор технічних наук, професор  
**Венцель Євген Сергійович,**  
Харківський національний автомобільно-дорожній університет,  
завідувач кафедри будівельних і дорожніх машин

кандидат технічних наук, доцент  
**Антипенко Анатолій Михайлович,**  
Харківський національний технічний університет сільського  
господарства ім. Петра Василенко, доцент кафедри трактори  
та автомобілі

Захист відбудеться «30» вересня 2009 р. о 12<sup>00</sup> годині на засіданні спеціалізованої вченої ради Д 64.059.02 при Харківському національному автомобільно-дорожньому університеті за адресою: 61002, м. Харків, вул. Петровського, 25.

З дисертацією можна ознайомитись у бібліотеці Харківського національного автомобільно-дорожнього університету за адресою: 61002, м. Харків, вул. Петровського, 25.

Автореферат розісланий «29» серпня 2009 р.

Вчений секретар  
спеціалізованої вченої ради

І.С. Наглюк

## ЗАГАЛЬНА ХАРАКТЕРИСТИКА РОБОТИ

**Актуальність теми.** Ефективність експлуатації автобусів можна оцінити по собівартості здійсненої ними роботи, яка залежить від витрат на паливо-мастильні матеріали, витрат на ремонт і технічне обслуговування. Знижуючи ці витрати шляхом оптимізації строків заміни моторних олив, можна значно підвищити ефективність експлуатації автобусів, одночасно із цим підвищуючи їх експлуатаційну надійність.

Сьогодні заміну моторних олив під час експлуатації автобусів здійснюють не по фактичному стану, а по строку, зазначеному в керівництві з експлуатації автобусів. Однак при такому підході спостерігається необґрунтована перевитрата дорогих моторних олив через те, що практично в 80% розглянутих випадків при досягненні строку експлуатації, що рекомендується для заміни оливи, жоден із бракувальних показників її якісного стану не досягає гранично-припустимого значення, а олива придатна до подальшої експлуатації.

Оптимізація строку заміни моторних олив суттєво залежить від їх початкового потенціалу фізико-хімічних властивостей та швидкості його вичерпання, умов експлуатації автобусів, а також від бракувальних показників якості, які відображають фактичний стан оливи під час експлуатації автобуса.

Таким чином, підвищення ефективності експлуатації автобусів шляхом оптимізації строків заміни моторних олив завдяки параметру, який дозволяє одержати необхідний і достатній обсяг діагностичної інформації про фактичний стан оливи, є дуже актуальним завданням особливо в умовах зростаючих світових цін на нафтопродукти.

**Зв'язок роботи з науковими програмами, планами, темами.** Дисертаційна робота відповідає науковому напрямку кафедри «Технології палива та вуглецевих матеріалів» Національного технічного університету «ХПІ» і здійснювалася відповідно до державної програми розвитку фундаментальних досліджень і їхнього застосування, прийнятої Кабінетом Міністрів на підставі Закону України «Про основи державної політики в сфері науки й науково-технічної діяльності».

Робота пов'язана з виконанням госпдоговірної тематики за замовленням випробувальної лабораторії «Універсалнафтохім» (договір № 47510 від 22.12.2005) «Проведення аналізів нафтопродуктів».

**Мета і завдання дослідження.** Метою роботи є підвищення ефективності експлуатації автобусів оптимізацією строків заміни моторних олив шляхом контролю їхньої якості по параметру збільшення діелектричної проникності.

Для досягнення поставленої мети визначені такі завдання:

- проаналізувати вплив, який здійснює якість моторної оливи і строки її заміни на ефективність експлуатації автобусів;
- теоретично обґрунтувати і експериментально підтвердити можливість застосування параметра збільшення діелектричної проникності моторних олив для контролю їхньої якості в експлуатації;
- визначити метод і розробити методика виміру діелектричної проникності моторних олив;
- експериментально встановити аналітичний взаємозв'язок між показниками якості моторних олив і параметром збільшення діелектричної проникності для визначення граничного значення параметра збільшення діелектричної проникності;
- на підставі отриманих результатів досліджень встановити оптимальні строки заміни моторних олив при експлуатації автобусів.

**Об'єкт дослідження** – процес зміни якості олив при експлуатації автобусів.

**Предмет дослідження** – підвищення ефективності експлуатації автобусів шляхом оптимізації строків заміни моторних оливо.

**Методи дослідження.** У процесі вивчення стану питання по темі дисертаційної роботи застосовувався метод аналізу; при теоретичних дослідженнях – аналітичний метод, що базується на фундаментальних законах фізики, механофізики, матеріалознавства; при проведенні лабораторних і експлуатаційних досліджень – експериментальні методи із застосуванням сучасних методик, встановлених у ГОСТ і ДСТУ. Обробка отриманих результатів проводилася з використанням методів математичної статистики.

#### **Наукова новизна одержаних результатів**

Вперше:

- визначено вплив на величину параметра збільшення діелектричної проникності моторних оливо продуктів зносу тертьових деталей, палива та продуктів його неповного згоряння, охолоджувальної рідини, частинок запорошення;

- встановлена аналітична залежність між такими показниками якості оливи як: коксівність, вміст води, кислотне число і величиною збільшення діелектричної проникності, на підставі чого визначено її граничне значення;

- отримані закономірності зміни величини параметра збільшення діелектричної проникності оливи залежно від строку та умов експлуатації автобуса, і кількості оливи, що доливається в систему змащення двигуна.

Дістало подальший розвиток застосування параметра діелектричної проникності для визначення якості моторних оливо, на підставі чого розроблено метод, який дозволяє оптимізувати строки заміни оливо при експлуатації автобусів.

**Практичне значення одержаних результатів.** Запропонований у дисертаційній роботі метод діагностування моторних оливо та практичні рекомендації дозволили ВАТ «ХАТП»-16330 подовжити строки заміни моторних оливо під час експлуатації автобусів «Богдан»-А091 і ПАЗ-4234, тим самим знизити витрати оливи, підвищити експлуатаційну надійність автобусів, знизити час простою автобусів.

Метод діагностування моторних оливо та практичні рекомендації, які запропоновані у дисертаційній роботі, прийняті до використання випробувальною лабораторією «Універсалнафтохим», що дозволило їй значно скоротити час визначення якості моторних оливо, з високим ступенем імовірності оцінити технічний стан двигуна по показникам якості моторної оливи, спростити процедуру сертифікації та ідентифікації моторних оливо.

Матеріали дисертації використані в навчальному процесі Національного технічного університету «ХПІ» для робочої програми дисципліни «Фізика і хімія палив, оливо, мастил».

#### **Особистий внесок здобувача**

- обґрунтовано застосування параметра збільшення діелектричної проникності моторних оливо для визначення оптимальних строків їх заміни в експлуатації;

- експериментально підтверджений вплив на величину параметра збільшення діелектричної проникності моторних оливо основних видів забруднень, які потрапляють у оливу при експлуатації;

- встановлено аналітичний взаємозв'язок та розраховано коефіцієнти кореляції між параметром збільшення діелектричної проникності і показниками якості оливи при експлуатації автобусів;

- встановлено рівень граничного значення величини збільшення діелектричної проникності моторних оливо під час експлуатації автобусів;

- розроблена математична модель, що дозволяє встановити оптимальні строки заміни моторних оливо при експлуатації автобусів;

- отримані закономірності зміни величини параметра збільшення діелектричної проникності оливи залежно від строку та умов експлуатації автобуса, і кількості оливи, що доливається в систему змащення двигуна.

**Апробація результатів дисертації.** Результати роботи доповідалися і обговорювалися на міжнародній науково-технічній конференції «MicroCAD» (м. Харків, 2006 р.), XIII та XIV міжнародних науково-технічних конференціях «Транспорт, екологія-стійкий розвиток» (м. Варна, 2007-08 р.), X та XI міжнародних науково-технічних конференціях «Автомобільний транспорт: проблеми й перспективи» (м. Севастополь, 2007-08 р.), 71-й та 72-й науково-технічних та методичних секціях, які присвячені проблемам автомобільного транспорту (м. Харків, 2007-08 р.).

**Публікації.** Основні положення дисертаційної роботи викладені в 10 наукових працях, з них 8 праць опубліковано у фахових виданнях, затверджених ВАК України та 2 праці опубліковані в збірниках матеріалів міжнародних наукових конференцій.

**Структура й обсяг роботи.** Дисертація складається із вступу, п'яти розділів, висновків, списку використаних джерел і додатків. Повний обсяг дисертації складає 161 сторінку, у тому числі 50 рисунків на 10 сторінках, 12 таблиць, 8 додатків на 27 сторінках. Список використаних джерел містить 153 найменування на 14 сторінках.

## ОСНОВНИЙ ЗМІСТ

**У вступі** обґрунтовано актуальність теми, визначено об'єкт і предмет дослідження, сформульовано мету, завдання, наукову новизну та практичне значення отриманих результатів, наведені основні наукові результати, що виносяться на захист.

**У першому розділі** розглядається процес зміни якості моторної оливи в експлуатації. Встановлено, що якість моторної оливи та строк її заміни є найбільш важливим фактором, керуючи яким можливо значно підвищити ефективність експлуатації та експлуатаційну надійність автобусів.

З аналізу літературних джерел, які наведено у першому розділі, витікає, що сьогодні для визначення якості моторних оливи в експлуатації досить широко використовуються одиничні і комплексні бракувальні показники.

Одиничні і комплексні бракувальні показники якості мають ряд істотних недоліків, до яких відносяться відсутність чітких гранично-припустимих значень, висока вартість та значні витрати часу на їхню реалізацію, необхідність мати спеціалізовану лабораторію.

Означені вище показники є непридатними для оперативного діагностування якості оливи в умовах станцій технічного обслуговування та майстерень автотранспортних підприємств.

Враховуючи ці недоліки останнім часом, для визначення якості моторних оливи стали використовуватись такі електрофізичні показники як: питомий електричний опір; електропровідність, діелектрична проникність та тангенс кута діелектричних втрат.

Для визначення якості моторних оливи із цих показників, на нашу думку, доцільно використовувати діелектричну проникність  $\varepsilon$ , яка більш повно відображає фактичний стан оливи та у набагато меншому ступені залежить від температури, при якій здійснюються вимірювання, ніж інші електрофізичні показники.

На основі проведеного аналізу у висновку по першому розділу визначено мету та формулюється завдання дослідження.

**У другому розділі** обґрунтовано використання діелектричної проникності  $\varepsilon$  для оптимізації строків заміни моторних оливи в експлуатації.

Під час експлуатації автобусів спостерігається зміна величини  $\varepsilon$  моторної оливи, яка обумовлена окислюванням та накопичуванням у оливі різних домішок.

Розглядаючи вплив окислювання оливи слід зазначити, що продуктами окислювання вуглеводнів є альдегіди і оксикислоти, для яких характерна наявність карбонільної групи  $C=O$ . Ця група особливо схильна до поляризації, що призводить до зростання величини  $\varepsilon$  оливи.

Зростання величини  $\varepsilon$  моторної оливи також спостерігається в залежності від збільшення у ній відносної масової концентрації провідних домішок, які потрапляють до неї під час експлуатації автобусів.

Таким чином, незалежно від технічного стану двигунів автобусів та умов їхньої експлуатації величина  $\varepsilon$  моторної оливи, що працювала, буде завжди мати більш високі значення у порівнянні з  $\varepsilon$  оливи, що не працювала. З огляду на це, для визначення якості оливи в експлуатації доцільно скористатися параметром збільшення їхньої діелектричної проникності  $\Delta\varepsilon$ .

Для оцінки впливу провідних домішок на параметр  $\Delta\varepsilon$  моторної оливи в експлуатації запропонуємо спрощену модель наступного вигляду

(1)

- де – діелектрична проникність оливи, що не працювала;  
 – щільність моторної оливи, що працювала,  $g/cm^3$ ;  
 – щільність провідних домішок, які знаходяться у оливі,  $g/cm^3$ ;  
 – відносна масова концентрація провідних домішок.

Слід зазначити, що математична модель (1), отримана на підставі деяких припущень, зокрема про форму провідних домішок і їх розподіл по об'єму оливи, а тому придатна тільки для якісного пояснення цього впливу.

Оптимальний строк заміни моторної оливи під час експлуатації автобусів пропонується визначати по наступній математичній моделі

(2)

- де – граничне значення параметра збільшення діелектричної проникності оливи;  
 – строк експлуатації автобуса, після останньої заміни оливи, км.

Таким чином, послідовність дій запропонованого метода визначення оптимальних строків заміни моторних оливи при експлуатації автобусів, який дозволяє зменшити витрату оливи, пов'язану з необґрунтованою їх заміною по призначеному строку, і зменшити час простою автобусів, можна представити у вигляді структурної схеми, яка наведена на рис. 1.

Рис. 1. Схема послідовності дій визначення оптимальних строків заміни моторних оливи при експлуатації автобусів

**У третьому розділі** наведені методика та результати вимірювання діелектричної проникності моторних оливи резонансним методом із застосуванням лабораторного переносного вимірювача добротності типу Е 4-4.

Встановлено, що похибка вимірювань величини  $\varepsilon$  резонансним методом, що розрахована нами з використанням методів математичної статистики, чисельно дорівнює 0,003.

На рис. 2 наведено результати вимірювання діелектричної проникності моторних олив (API CD/CF) різних фірм виробників, що часто зустрічаються на українському ринку нафтопродуктів.

Найменшим середнім значенням  $\varepsilon$  володіють синтетичні оливи із класом в'язкості 5W-40, найбільшим значенням  $\varepsilon$  володіють мінеральні оливи із класом в'язкості 15W-40. Це пояснюється тим фактом, що мінеральні базові оливи характеризуються більшим значенням величини  $\varepsilon$ , ніж синтетичні базові оливи, та у них для одержання заданих властивостей додають більшу кількість металовмісних присадок. Що стосується напівсинтетичних моторних олив із класом в'язкості 10W-40, то по величині  $\varepsilon$  вони займають проміжне значення між синтетичними та мінеральними оливами.

Рис. 2. Середні значення  $\varepsilon$  для олив різних класів в'язкості по SAE

**У четвертому розділі** наведено експериментальні дослідження з метою підтвердити теоретичні положення щодо впливу на величину  $\varepsilon$  оливи різних видів домішок та розробити моделі для кількісної оцінки цього впливу.

Вплив цих домішок вивчався у лабораторних умовах з використанням так званих модельних середовищ, які являли собою моторні оливи ESSOLUB XT401 SAE 15 W-40 (API CF-4), ТНК SAE 30 (API CD) з доданими домішками.

Характер отриманих залежностей повністю ідентичний, не зважаючи на те, яка олива була взята за основу у модельному середовищі. Тому у якості прикладу нижче наведено залежності впливу різних домішок на величину  $\varepsilon$  моторної оливи ESSOLUB XT401 SAE 15W-40 (API CF-4).

Вплив продуктів зношування тертьових деталей:

(3)

Вплив продуктів неповного згоряння палива (частинок сажі):

(4)

Вплив охолоджувальної рідини:

(5)

Вплив частинок запарошення:

(6)

де – концентрація у оливі частинок заліза, г/т;

– концентрація у оливі частинок сажі, %(мас.);

– концентрація у оливі води, %(мас.);

– концентрація у оливі частинок запарошення, г/т.



У припущенні, що у моторній оливі між домішками відсутня хімічна взаємодія за пропонуємо математичну модель, яка дозволяє кількісно визначити сумарний вплив усіх розглянутих домішок на величину параметра  $\Delta\varepsilon$

(7)

Величина похибки при розрахунку параметра по запропонованому рівнянню регресії дорівнює 7,4÷8,7 %.

Таким чином гіпотеза про те, що зі збільшенням у працюючій оливі масової концентрації домішок буде спостерігатися зростання величини параметру оливи, повністю підтвердилася.

**У п'ятому розділі** наведено дослідження фізико-хімічних властивостей моторних олив в експлуатаційних умовах, які проводилися на базі ВАТ «ХАТП»-16330 на 47-ох автобусах «Богдан»-А091, оснащених чотиритактним дизельним двигуном 4HG1 фірми ISUZU (Японія) і 31-у автобусі ПАЗ-4234, оснащених чотиритактним дизельним двигуном Д-245.9Е2, з турбонаддувом і проміжним охолодженням повітря, що надувається.

Відповідно до рекомендацій з експлуатації автобусів у двигунах автобусів «Богдан»-А091 експлуатувалася мінеральна всесезонна олива ESSOLUB XT401 SAE 15W-40(API CF-4), у двигунах автобусів ПАЗ-4234 – мінеральна олива ТНК SAE 30(API CD).

Проби олив із двигунів досліджуваних автобусів відбиралися з інтервалом 5-6 тис. км, через отвір оливо-замірної лінійки на протязі 10 хвилин після зупинки двигуна. Для оцінки працездатності олив у відібраних пробах визначали кінематичну в'язкість по ДСТУ ГОСТ 33 (ISO3104), лужне й кислотне числа по ГОСТ 11362, температуру спалаху по ГОСТ 26378.4, вміст води по ГОСТ 2477, коксівність по Конрадсону ГОСТ 19932(ISO3104), водневий показник рН. Також у відібраних пробах олив поряд з показниками якості, наведеними вище, визначали параметр  $\Delta\varepsilon$ .

За даними літературних джерел, дизельна олива вважається не працездатною у випадку, якщо: кінематична в'язкість змінилася стосовно первісного значення на 25-35%; відбулося зниження температури спалаху більш ніж на 20 °С; стали однаковими по величині лужне й кислотне числа; вміст води перевищує 0,3%; вміст заліза досяг 150 г/т; величина коксівності досягла 4 % (мас.); величина водневого показника рН знизилася до 5-6.

Проведені дослідження показали, що при рекомендованому в керівництві з експлуатації автобусів «Богдан»-А091 і ПАЗ-4234 строку заміни моторних олив, який дорівнює 10 тис. км і 8 тис. км відповідно, в умовах штатного режиму експлуатації автобусів параметр  $\Delta\varepsilon$  перебував в межах 0,05-0,15, а наведені вище показники якості олив практично не змінювалися щодо первісних значень, що свідчить про великий початковий потенціал фізико-хімічних і експлуатаційних властивостей олив.

Лише при строку експлуатації автобусів, рівному 16 тис. км, (див. табл. 1) значно виросла величина кислотного числа, бракувальних значень досягли такі показники якості, як коксівність, вміст води і заліза. Зміна інших показників якості олив щодо їхніх первісних значень була незначною або перебувала в області припустимих значень.

Таблиця 1

На рис. 3-4 наведена залежність параметра  $\Delta\varepsilon$  олив від строку експлуатації автобусів «Богдан»-А091 і ПАЗ-4234. З автобусів, наведених на рис. 3, тільки при експлуатації автобуса «Богдан»-А091 д/н 02008 олива, яка відібрана з його двигуна, втрачає свою працездатність у зв'язку з тим, що її коксівність досягає гранично-припустимого значення, рівного 4 % (мас.), а вміст у ній заліза становить 148 г/т. Величина параметра відповідно цьому

строку експлуатації автобусу, дорівнює 0,3. Цей автобус експлуатувався з долівками оливи в систему змащення двигуна у кількості 20% об'єму системи і в кожній відібраній пробі оливи характеризується досить високими значеннями параметра у порівнянні із пробами олив, відібраних з інших автобусів, що обумовлює втрату її працездатності при строку експлуатації автобусу 17 тис. км. Що стосується проб олив, відібраних із двигунів автобусів «Богдан»-А091 д/н 01600 і «Богдан»-А091 д/н 25785, то вони по вмісту заліза втратили свою працездатність тільки при строку експлуатації автобусів, рівному 22,3 тис. км і 21,5 тис. км відповідно.

Рис. 3. Залежність параметра оливи ESSOLUB XT401 SAE 15W-40(API CF-4) від строку експлуатації автобусів «Богдан»-А091 з д/н: 1-02008; 2-25785; 3-01600

В деяких випадках це можна пояснити оптимальними умовами експлуатації автобусів, в інших-частими долівками оливи замість учаділого і витеклого із системи змащення двигуна. Так, наприклад, в автобус д/н 01600 долівки оливи в систему за час дослідження склали близько 50% загального обсягу системи змащення двигуна.

Рис. 4. Залежність параметра оливи ТНК SAE 30(API CD) від строку експлуатації автобусів ПА3-4234 А091 з д/н: 1-01975; 2-01983; 3-01966

Під час експлуатації автобуса ПА3-4234 д/н 01975 (див. рис. 4), що експлуатувався з долівками оливи у кількості 20 % загального обсягу системи змащення двигуна, олива, яка відібрана з його двигуна, втрачає свою працездатність при строку експлуатації автобуса, рівному 19 тис. км. Це пов'язане з тим, що при строку експлуатації автобуса, рівного 19 тис. км її коксівність оливи досягає гранично-припустимого значення, рівного 4 % (мас.), вміст води становить 0,3 % (мас.), вміст заліза – 150 г/т. Величина параметра  $\Delta\epsilon$  відповідно цьому строку експлуатації, дорівнює 0,3.

Автобус ПА3-4234 д/н 01983, що експлуатувався з долівками оливи в систему змащення двигуна у кількості 20 % загального обсягу системи, характеризується повільним зростанням величини параметра оливи, яка при строку експлуатації автобуса, рівному 20 тис. км, становить 0,2651, що у свою чергу пояснюється оптимальними умовами експлуатації автобуса. У той час як олива, що відбирається із двигуна автобуса ПА3-4234 д/н 01966, не втратила свою працездатність при строку експлуатації автобуса близькому 22,5 тис. км. Це пояснюється частими долівками оливи в систему змащення двигуна автобуса, які за час дослідження склали близько 50 % загального обсягу системи змащення.

Очевидно, що між такими показниками якості, як коксівність, вміст води, кислотне число олив і параметром  $\Delta\epsilon$  існує функціональна залежність, мірою якої є коефіцієнт парної кореляції  $r$ . Визначимо коефіцієнти парної кореляції на підставі результатів, отриманих при дослідженні відібраних проб олив, з використанням пакету STATISTICA 6.0, що являє собою універсальну інтегровану систему, яка призначена для статистичного аналізу та обробки даних.

Результати розрахунку величини коефіцієнтів кореляції при значенні  $\Delta\epsilon$  для показників якості олив, що експлуатуються у двигунах автобусів «Богдан»-А091 та ПА3-4234, наведені у табл. 2.

Як видно з табл. 2, кореляція між діагностичним параметром та коксівністю, кислотним числом, які працювали у двигунах автобусів «Богдан»-А091 та ПАЗ-4234, не зважаючи на умови експлуатації – значна. Між параметром  $\Delta\epsilon$  та вмістом води у оливах, які працювали у двигунах автобусів «Богдан»-А091 та ПАЗ-4234, не зважаючи на умови експлуатації – помірна. Тому для параметра  $\Delta\epsilon$  можна запропонувати граничне значення, відповідне величині коксівності оливи рівної 4 % (мас.) та вмісту у ній заліза біля 150 г/т.

Таким чином, для дизельної оливи ESSOLUB XT401 SAE 15W-40 (API CF-4), яка працювала у двигунах автобусів «Богдан»-А091 і оливи ТНК SAE 30 (API CD), яка працювала у двигунах автобусів ПАЗ-4234, на підставі отриманих кореляційних залежностей можна прийняти граничне значення діагностичного параметра, при досягненні якого експлуатацію автобусу доцільно припинити та здійснити заміну моторної оливи.

Тоді математична модель, що дозволяє визначити оптимальний строк заміни моторних оливи при експлуатації автобусів можна записати в наступному вигляді

(8)

Для визначення залежності між параметром  $\Delta\epsilon$  оливи та експлуатаційними факторами досліджувались 20 автобусів «Богдан»-А091, працюючих в II категорії умов експлуатації, 20 автобусів «Богдан»-А091, працюючих в III категорії умов експлуатації, та 20 автобусів ПАЗ-4234, працюючих в II категорії умов експлуатації.

На підставі цього, з використанням пакету STATISTICA 6.0 була побудована квадратична модель залежності параметра  $\Delta\epsilon$  оливи від строку експлуатації автобусу та кількості оливи, що доливається в систему змащення двигуна, яка має наступний вигляд:

- для автобусів «Богдан»-А091, II категорії умов експлуатації

;

(9)

- для автобусів «Богдан» – А091, III категорії умов експлуатації

;

(10)

- для автобусів ПАЗ-4234, II категорії умов експлуатації

.

(11)

Змінні, які наведені у рівняннях регресії, можна ранжувати по ступеню впливу на величину  $\Delta\epsilon$  в наступному порядку:  $\beta_1$ ,  $\beta_2$ ,  $\beta_3$ , причому для автобусів «Богдан»-А091 незалежно від умов експлуатації всі три змінні здійснюють на величину  $\Delta\epsilon$  помірний вплив. Для автобусів ПАЗ-4234, вплив змінної  $\beta_1$  – значний, а  $\beta_2$  і  $\beta_3$  – помірний.

Величина похибки при розрахунку параметра  $\Delta\epsilon$  по запропонованим рівнянням регресії становить: для автобусів «Богдан»-А091, що працюють в II категорії умов експлуатації, дорівнює  $10,5 \div 13,3$  %; для автобусів «Богдан»-А091, що працюють у III категорії умов експлуатації, дорівнює  $8,0 \div 9,6$  %; для автобусів ПАЗ-4234, що працюють у II категорії умов експлуатації, дорівнює  $9,4 \div 11,5$  %.

Стосовно впливу строку з початку експлуатації досліджуваних автобусів на величину параметра  $\Delta\epsilon$  слід зазначити, що автобусний парк ВАТ «ХАТП»-16330 перебуває в експлуатації з 2002р. і на початок досліджень строк з початку експлуатації автобусів «Богдан»-А091 становив 200-500 тис. км, а для автобусів ПАЗ-4234 становив 200-400 тис. км, що дозволило умовно розбити всі досліджувані автобуси на групи, наведені на рис. 5-6.

Рис. 5. Залежність середнього значення параметра оливи від строку з початку експлуатації автобусів «Богдан»-А091

Дослідження в експлуатаційних умовах дозволили підтвердити той факт, що зі збільшенням загального строку з початку експлуатації автобусів відбувається помітне збільшення середнього значення параметра проб оливи, відібраних при їхній заміні (див. рис. 5-6). Причиною цього збільшення є поступовий виробіток технічного ресурсу двигуна у процесі експлуатації автобусів, що, безсумнівно, відбивається на працездатності моторної оливи.

Таким чином, середнє значення параметра  $\Delta\epsilon$  оливи при строку експлуатації автобуса, рівному 20-23 тис. км, не для однієї із груп не досягає рекомендованого граничного значення, рівного 0,3, що дає підстави ще збільшити строки їх заміни. Однак, необхідно враховувати той факт, що при подальшій експлуатації автобусів, коли їхній загальний строк з початку експлуатації складе більше 500 тис. км, середнє значення параметра кожної групи буде вище, ніж наведене на рис. 5-6, що у свою чергу буде спричиняти зниження строків заміни оливи до строку, зазначеного в керівництві з експлуатації автобусів.

Рис. 6. Залежність середнього значення параметра оливи від строку з початку експлуатації автобусів ПАЗ-4234

Розглядаючи умови експлуатації досліджуваних автобусів «Богдан»-А091 і «ПАЗ»-4234, слід зазначити, що автобуси «Богдан»-А091 були задіяні в пасажирських перевезеннях як у II, так і у III категорії умов експлуатації, а автобуси ПАЗ-4234 експлуатувалися винятково у II категорії умов експлуатації.

При експлуатації автобусів «Богдан»-А091 і ПАЗ-4234 у більшості випадків втрата працездатності відібраних проб оливи доводиться на строк експлуатації автобусів, рівний 23 тис. км. Однак при експлуатації в II категорії умов експлуатації кількість автобусів, у яких оливи втрачають свою працездатність при строку експлуатації рівному 16-23 тис. км, менше кількості автобусів, у яких оливи втрачають свою працездатність при строку експлуатації автобусів, рівному 22-25 тис. км. Що стосується експлуатації автобусів «Богдан»-А091 в III категорії умов експлуатації, то кількість автобусів, у яких оливи втрачають свою працездатність при строку експлуатації автобусів, рівному 16-22 тис. км, практично у два рази перевершує кількість автобусів, у яких оливи втрачають свою працездатність при строку експлуатації автобусів, рівному 22-25 тис. км.

На рис. 7 наведена залежність середнього значення параметра  $\Delta\epsilon$  оливи для автобусів «Богдан»-А091 із строком експлуатації 20-23 тис. км від умов, в яких вони експлуатуються.

Рис. 7. Залежність середнього значення параметра оливи від умов експлуатації автобусів «Богдан»-А091 і ПАЗ-4234

Як видно з рис. 7, проби моторної оливи, які відібрані з двигунів автобусів, що експлуатувалися в III категорії умов експлуатації, у більшості випадків при строку експлуатації автобусів 20-23 тис. км втрачають свою працездатність через досягнення або перевищення граничного значення параметра  $\Delta\epsilon$ , на відміну від оливи, які відібрані з двигунів автобусів, що експлуатувалися в II категорії умов експлуатації.

Проведення періодичного контролю з використанням параметра  $\Delta\epsilon$  дозволило у найкоротший термін збільшити строки заміни моторних оливи у двигунах автобусів в 2-3 рази щодо строків, зазначених у керівництві з експлуатації, що значною мірою скоротило витрату моторної оливи на заміну та час простою автобусів.

## ВИСНОВКИ

1. Аналіз літературних джерел, присвячених застосуванню моторних оливи у двигунах внутрішнього згоряння, показав, що якість застосовуваної моторної оливи та строк її заміни є одними з основних факторів, керуючи якими можна підвищити ефективність експлуатації автобусів.

2. Запропоновано метод визначення оптимальних строків заміни моторних оливи при експлуатації автобусів, у якому фактичний стан оливи оцінюється по параметру збільшення їхньої діелектричної проникності  $\Delta\epsilon$ , що дозволяє зменшити витрату оливи, пов'язану з необгрунтованою їхньою заміною по строку, призначеному в керівництві з експлуатації автобусів, та скоротити час простою автобусів.

3. Проведені експериментальні дослідження показали, що найбільший вплив на величину  $\Delta\epsilon$  моторної оливи у розглянутому діапазоні граничних значень оказують часточ-

ки сажі, продукти зношування третєвих деталей і охолоджувальна рідина. Дизельне паливо, що міститься в моторній оливі незалежно від марки не оказує ніякого впливу на величину  $\Delta\epsilon$ , а частки заповорошення, що перебувають у оливі, приводять до деякого зменшення цієї величини.

4. Між параметром  $\Delta\epsilon$  і такими показниками якості олив, як коксівність, кислотне число спостерігається сильна кореляція, між параметром  $\Delta\epsilon$  і вмістом у оливі води кореляція помірна, але близька до слабкої.

5. Експлуатаційні дослідження дозволили встановити, що для дизельної оливи ESSOLUB XT401 SAE 15W-40(API CF-4), що працювала у двигунах автобусів «Богдан»-А091, і оливи ТНК SAE 30(API CD), що працювала у двигунах автобусів ПАЗ-4234, граничне значення параметра  $\Delta\epsilon$ , при досягненні якого експлуатація автобусів доцільно припинити та здійснити заміну моторної оливи, становить 0,3.

6. Теоретичні і експериментальні дослідження дозволили збільшити строк заміни моторних олив при експлуатації автобусів «Богдан»-А091 і ПАЗ-4234 щодо строків, рекомендованих керівництвом з їхньої експлуатації, майже в 2-3 рази.

7. Сумарний річний економічний ефект від підвищення ефективності експлуатації автобусів шляхом оптимізації строків заміни моторних олив на ВАТ «ХАТП»-16330 складає: на один автобус «Богдан»-А091 у розмірі 491,32 грн, на один автобус ПАЗ-4234 у розмірі 606,31 грн.

## ОСНОВНІ МАТЕРІАЛИ ДИСЕРТАЦІЇ ОПУБЛІКОВАНІ В РОБОТАХ

1. Григоров А.Б. Діелектрична проникність, як комплексний показник, що характеризує зміну якості моторних олив у процесі їхньої експлуатації / А.Б. Григоров, П.В. Карножицький, С.А. Слободської // Вісник національного технічного університету «ХПІ». – 2006. – №25. – С. 169-175. *Дисертантом здійснено огляд методів вимірювання відносної діелектричної проникності, проведені вимірювання діелектричної проникності моторних олив, по яким було розраховано похибку вимірювання.*

2. Григоров А.Б. Вплив сажі на діелектричну проникність моторної оливи / А.Б. Григоров, П.В. Карножицький, І.С. Наглюк // Вісник Східноукраїнського національного університету ім. В. Даля. – 2007. – №6(112). – С. 117-121. *Дисертантом виконано аналіз різних видів забруднень моторних олив та причин утворення сажі у дизельному двигуні, проведені вимірювання діелектричної проникності, коксівності і щільності, здійснено аналіз отриманих результатів.*

3. Григоров А.Б. Зміна діелектричної проникності дизельних моторних олив в експлуатації / А.Б. Григоров, П.В. Карножицький, І.С. Наглюк // Автомобільний транспорт. – 2007. – №20. – С. 95-97. *Дисертантом виконано аналіз існуючих показників якості моторних олив, проведені вимірювання діелектричної проникності, сульфатної зольності і температури спалаху моторних олив та здійснено аналіз отриманих результатів.*

4. Григоров А.Б. Вплив забруднень моторних оливо під час експлуатації на величину змінення їх відносної діелектричної проникності / А.Б. Григоров // Вісник національного технічного університету «ХПІ». – 2007. – №32. – С. 133-138.

5. Григоров А.Б. Експрес-метод ідентифікації моторних оливо / А.Б. Григоров, П.В. Карножицький, А.Ф. Климчук // Вісник національного технічного університету «ХПІ». – 2007. – №8. – С. 49-54. *Дисертантом здійснено аналіз методів, які використовуються при ідентифікації моторних оливо, проведені вимірювання діелектричної проникності, здійснено аналіз отриманих результатів.*

6. Григоров А.Б. Зміна показників якості моторної оливи під час експлуатації автобусів «Богдан»-А091 і ПАЗ-4234 / А.Б. Григоров, І.С. Наглюк, П.В. Карножицький // Вісник харківського національного технічного університету сільського господарства ім. П. Василенко. – 2008. – Т.1, №75. – С. 95-97. *Дисертантом розраховані коефіцієнти кореляції між діагностичним параметром та стандартними показниками якості та запропоновано бракувальне значення діагностичного параметра.*

7. Григоров А.Б. Уточнення строків зміни моторних оливо під час експлуатації автобусів «Богдан»-А091 і ПАЗ-4234 / А.Б. Григоров, І.С. Наглюк, П.В. Карножицький // Автомобільний транспорт. – 2008. – № 23. – С. 85-88. *Дисертантом здійснено аналіз зміни показників якості моторних оливо під час експлуатації оливи у двигунах автобусів та запропоновано подовжити строк зміни моторних оливо, відносно рекомендацій з експлуатації автобусів.*

8. Григоров А.Б. Кореляційна залежність між показниками якості оливи та зростанням її діелектричної проникності під час експлуатації у автобусах «Богдан»-А091 / А.Б. Григоров, І.С. Наглюк, П.В. Карножицький // Вісник Східноукраїнського національного університету ім. В. Даля. – 2008. – №.7(125). – С 99-102. *Дисертантом здійснено аналіз існуючих показників якості моторних оливо, проведені вимірювання діелектричної проникності, лужного та кислотного чисел, коксівності, розраховані коефіцієнти кореляції описаних залежностей.*

9. Транспорт, екологія-стійкий розвиток: матеріали XIII міжнародної науково-технічної конференції, 8-10 мая 2007р. – Варна: Вид-во тех. ун-та, 2007. – С. 701-708.

10. Транспорт, екологія-стійкий розвиток: праці XIV міжнародної науково-технічної. конференції, 8-10 мая 2008р. – Варна: Вид-во тех. ун-та, 2008. – С. 362-369.

## АНОТАЦІЯ

Григоров А.Б. Підвищення ефективності експлуатації автобусів оптимізацією строків заміни моторних оливо. Рукопис.

Дисертація на здобуття наукового ступеня кандидата технічних наук за фахом 05.22.20 – Експлуатація та ремонт засобів транспорту. Харківський національний автомобільно-дорожній університет, Харків, 2009.

Дисертація присвячена питанням підвищення ефективності експлуатації автобусів шляхом оптимізації строків заміни моторних олиव за рахунок проведення своєчасного їхнього діагностування по величині збільшення відносної діелектричної проникності  $\Delta\epsilon$ .

Дослідження фізико-хімічних властивостей олив в експлуатаційних умовах дозволили встановити закономірність зміни величини параметра  $\Delta\epsilon$  залежно від строку експлуатації автобусів, а також розрахувати коефіцієнти кореляції між параметром  $\Delta\epsilon$  і основними показниками якості олив. На підставі розрахованих коефіцієнтів кореляції визначений рівень граничного значення параметра  $\Delta\epsilon$ , рівний 0,3.

У даній роботі розроблено математичну модель, що дозволяє визначити строки заміни моторних олив під час експлуатації автобусів з урахуванням фактичного стану оливи. Розрахунок по цій моделі показав, що строк заміни моторних олив під час експлуатації автобусів «Богдан»-А091 і ПАЗ-4234 можна подовжити майже у 2-3 рази, що в значній мірі підвищує ефективність експлуатації автобусів.

Основні результати роботи, зокрема застосування параметра  $\Delta\epsilon$  для визначення оптимальних строків заміни моторних олив, рекомендовані до впровадження на ВАТ «ХАТП»-16330.

Ключові слова: *моторна олива, показники якості, двигун внутрішнього згорання, автобус, діелектрична проникність, експлуатація.*

## АННОТАЦІЯ

Григоров А.Б. Повышение эффективности эксплуатации автобусов оптимизацией сроков замены моторных масел. Рукопись.

Диссертация на соискание ученой степени кандидата технических наук по специальности 05.22.20 – Эксплуатация и ремонт средств транспорта. Харьковский национальный автомобильно-дорожный университет, Харьков, 2009 г.

Диссертация посвящена вопросам повышения эффективности эксплуатации автобусов путем оптимизации сроков замены моторных масел за счет проведения своевременного их диагностирования по величине приращения относительной диэлектрической проницаемости  $\Delta\epsilon$ .

Повышение эффективности эксплуатации автобусов осуществлялось на примере оптимизации срока замены масла ESSOLUB XT401 SAE 15W-40(API CF-4), работающего в двигателях автобусов «Богдан»-А091, и масла ТНК SAE 30(API CD), работающего в двигателях автобусов ПАЗ-4234.

Обзор литературных источников позволил установить, что в процессе эксплуатации двигателей внутреннего сгорания происходит ухудшение качества моторных масел, что обусловлено совместным действия процессов окисления и загрязнения. Эти процессы приводят к возрастанию величины их диэлектрической проницаемости.



Используя фундаментальные положения теории диэлектриков, была установлена аналитическая зависимость между наличием в масле полярных продуктов окисления, проводящих примесей и величиной параметра  $\Delta\epsilon$ .

Проведены экспериментальные исследования с целью отработки методики измерения диэлектрической проницаемости с последующим определением параметра  $\Delta\epsilon$  посредством резонансного метода с использованием лабораторного измерителя добротности Е4-4. Погрешность измерений диэлектрической проницаемости резонансным методом, рассчитанная посредством методов математической статистики, который численно равен 0,003.

Экспериментальными исследованиями в лабораторных условиях с использованием, так называемых модельных сред, определено влияние основных видов примесей, попадающих в моторные масла в процессе его эксплуатации в двигателе, на величину  $\Delta\epsilon$ .

Исследования физико-химических свойств масел в эксплуатационных условиях позволили установить закономерность изменения величины параметра  $\Delta\epsilon$  в зависимости от срока эксплуатации автобусов, а также рассчитать коэффициенты корреляции между параметром  $\Delta\epsilon$  и основными показателями качества масел. На основании рассчитанных коэффициентов корреляции определен уровень предельного значения параметра  $\Delta\epsilon$ , равный 0,3.

Установлены зависимости изменения параметра  $\Delta\epsilon$  от эксплуатационных факторов. В качестве факторов выбраны: срок эксплуатации автобуса, категории условий эксплуатации автобуса и расход масла на доливку в систему смазки двигателя взамен вытекшего или угоревшего, что является одним из основных критериев технического состояния и ресурса двигателей.

Разработана математическая модель, позволяющая определить оптимальные сроки замены моторного масла ESSOLUB XT401 SAE 15W-40(API CF-4) при эксплуатации автобусов «Богдан»-А091, и моторного масла ТНК SAE 30(API CD) при эксплуатации автобусов ПАЗ-4234, с учетом фактического состояния масла. Расчет по этой модели показал, что срок замены моторных масел при эксплуатации автобусов «Богдан»-А091 и ПАЗ-4234 можно увеличить почти в 2-3 раза, что в значительной мере повышает эффективность эксплуатации автобусов.

Ключевые слова: *моторное масло, показатели качества, двигатель внутреннего сгорания, автобус, диэлектрическая проницаемость, эксплуатация.*

## SUMMARY

Grigorov A. B. The increasing of efficiency of buses operation by optimization of motor oils change terms. Manuscript.

The thesis to get a scientific degree of Cand. of Tech. Sci. in specialty 05.22.20 – maintenance and repair of vehicles. – Kharkov National Automobile and Highway University, Kharkov, 2009.

The dissertation is devoted to increasing of efficiency of buses operation by optimization of motor oils change terms due to carrying out of their diagnosing on size of an increment of relative dielectric permeability  $\Delta\varepsilon$ .

Research of physical and chemical properties of oils in operational conditions have allowed to establish law of change of parameter  $\Delta\varepsilon$  depending on terms of buses operation, and also to calculate factors of correlation between parameter  $\Delta\varepsilon$  and the basic parameters of oils quality. On the basis of the designed factors of correlation the level of rejection value of the parameter  $\Delta\varepsilon$  is determined as 0,3.

In the given work the mathematical model which allow to determine optimum motor oils change terms at operation of buses with accounting of an actual condition of oil are developed.

The basic results of work, in particular, the application of parameter  $\Delta\varepsilon$  for definition of motor oils quality, are recommended to implement at the Motor transportation enterprise 16330.

Key words: *motor oil, parameters of quality, the conventional engine, bus, dielectric permeability, operation.*