

УДК: 629.113.001

ДІАГНОСТИКА ТЕХНІЧНОГО СТАНУ ДИЗЕЛЬНИХ ДВИГУНІВ ШЛЯХОМ АНАЛІЗУ МОТОРНОГО МАСТИЛА

С.Ф. Посонський, доц., канд. техн. наук,

О.П. Бабак, доц., канд. техн. наук,

А.А. Вичавка, викл., канд. техн. наук,

Хмельницький національний університет, м. Хмельницький

Транспортна галузь є однією із ключових складових економічного потенціалу будь-якої держави, адже вона забезпечує стабільне функціонування промисловості, сільського господарства та сфери послуг. Розвинена система перевезень сприяє інтеграції регіонів, підвищує ефективність логістичних процесів та сприяє соціально-економічному розвитку країни. В Україні провідне місце у структурі транспортної системи займає автомобільний транспорт – орієнтовно 80 % перевезень здійснюється саме ним (вантажо- та пасажироперевезення) [1].

Разом з тим однією з найбільш гострих проблем транспортної інфраструктури залишається зношеність і моральне старіння рухомого складу. Це негативно впливає на якість транспортних послуг, призводить до зниження безпеки перевезень та підвищення витрат на експлуатацію. Саме тому одним із актуальних завдань сучасного транспорту є зниження ризиків, пов'язаних із технічним станом транспортних засобів, через оновлення й модернізацію рухомого складу, а також удосконалення системи технічного обслуговування й ремонту.

Технічне обслуговування (ТО) є комплексом профілактичних заходів, спрямованих на підтримання транспортних засобів у працездатному стані. Регулярне проведення ТО не лише запобігає виникненню аварійних ситуацій, але й забезпечує своєчасне виявлення прихованих несправностей, що дозволяє уникнути дороговартісних ремонтів у майбутньому.

Система обслуговування автомобілів включає: щоденне обслуговування перед виїздом у рейс; планові ТО-1 та ТО-2, які виконуються з певною періодичністю згідно з вимогами заводу-виробника; поточний та капітальний ремонт. Кожен вид технічного обслуговування передбачає певний перелік діагностичних і регламентних робіт, спрямованих на перевірку стану і рівня охолоджувальних та мастильних рідин, регулювання та відновлення працездатності агрегатів.

Проте сучасний етап розвитку транспортної галузі вимагає розвитку систем діагностики, які дозволяють перейти від традиційного планового обслуговування до обслуговування за фактичним станом. Впровадження таких систем обслуговування та діагностики відкриває можливості для підвищення ефективності використання транспортних засобів, зменшення витрат, підвищення готовності рухомого складу.

Такий підхід (обслуговування за фактичним технічним станом) вимагає вирішення низки організаційно-технічних завдань:

1. Створення інфраструктури для постійного моніторингу технічного стану обладнання протягом усього життєвого циклу – включно із збором, обробкою і аналізом великих обсягів даних про параметри роботи агрегатів.

2. Розроблення методів контролю для вузлів, що впливають на безпеку руху – наприклад, підшипників, поршнево-кільцевих груп, систем наддуву, які мають найвищий ризик несправностей.

3. Підвищення точності вимірювань і достовірності результатів діагностики, що вимагає впровадження сучасних методів вимірювання та обробки даних.

Особливу увагу сьогодні приділяють методам діагностики без розбирання вузлів, які не потребують втручання в конструкцію агрегатів. Їхня головна перевага – зниження вартості робіт і скорочення простоїв транспорту [2].

Одним із найефективніших напрямів технічної діагностики є аналіз мастильних матеріалів, що використовуються в двигунах внутрішнього згоряння. Під час роботи двигуна мастило зазнає як хімічних, так і фізичних змін: відбувається його окиснення, деградація присадок, накопичення частинок зносу та продуктів згоряння палива.

Ці процеси безпосередньо відображають стан тертя та зношування деталей двигуна. Таким чином, моторне мастило виступає своєрідним «носієм інформації» про технічний стан двигуна, дозволяючи здійснювати моніторинг без розбирання агрегатів.

До основних методів контролю мастильних матеріалів належать:

1) Вимірювання електропровідності мастила, що змінюється зі збільшенням концентрації металевих частинок.

2) Визначення кольору та оптичної щільності мастила (метод «масляної плями»).

3) Спектральний аналіз, який дозволяє виявити наявність і кількість елементів-забруднювачів, що потрапили в мастило внаслідок зносу деталей.

Серед наявних методів найбільш інформативним і точним є спектральний аналіз мастильних матеріалів. Його суть полягає у виявленні елементного складу продуктів зносу, що містяться в мастилі. Це дає змогу не лише оцінити інтенсивність зносу, а й визначити, які саме деталі двигуна піддаються руйнуванню (наприклад, поршневі кільця, підшипники, вкладиші тощо). Використання цього методу дозволяє прогнозувати залишковий ресурс двигуна. Наприклад, дослідження показали, що в 95 % випадків діагностичні висновки, отримані за результатами аналізу мастила, підтверджуються під час розбирання двигуна. Таким чином, метод зарекомендував себе як надійний інструмент моніторингу технічного стану, який значно зменшує ймовірність раптових відмов обладнання [3].

Розглянемо докладніше методику спектрального аналізу мастильних матеріалів, специфіку застосування у дизельних двигунах, зокрема в транспорті.

1. Забір проб мастила: важливо дотримуватися стандартизованих умов – пробу слід взяти на встановленій робочій температурі і після встановленого часу роботи; також потрібно уникати забруднення зовнішніми металами.

2. Підготовка зразка та аналіз: в лабораторіях використовують спектрометри (наприклад, атомно-абсорбційний чи індуктивно-зв'язаний плазмовий спектрометр, а також інфрачервону спектроскопію (FTIR) для аналізу присадок і деградації). Наприклад, застосування FTIR-спектроскопії дозволяє відстежити деградацію оливи – окиснення, нітрацію, сульфатацію.

3. Кількісний аналіз елементів зносу: визначають концентрацію металів, таких як залізо, мідь, алюміній, хром, свинець тощо. Ці елементи вказують на знос відповідних деталей (наприклад, підшипників, втулок, поршневих кілець).

4. Побудова трендів зносу: на основі серій аналізів формуються графіки (тренди) концентрацій зносних елементів з часом чи пробігом. Це дозволяє виявити відхилення від нормального стану, і, за необхідності, скоригувати інтервали обслуговування.

5. Інтерпретація результатів: наприклад, якщо концентрація заліза різко росте – це може вказувати на знос циліндрової групи або втулок; підвищений вміст міді – знос втулок чи підвищене тертя; підвищений вміст алюмінію – знос поршневих кілець чи поверхонь, оброблених алюмінієм. Необхідно оцінювати не лише абсолютні значення, але й динаміку змін.

6. Прогнозування залишкового ресурсу: на основі трендів концентрацій зносних металів і інших параметрів (наприклад, в'язкості, вмісту сажі, присадок) можливо оцінити, скільки ще агрегат здатен працювати до наступного ремонту.

Переваги застосування спектрального аналізу мастила: висока точність результатів; можливість кількісної оцінки концентрації металів зносу; швидкість проведення аналізу; мінімальні витрати на підготовку проб.

На практиці використання аналізу мастильних матеріалів у системі технічного обслуговування транспортних засобів має суттєві економічні переваги: зниження витрат на капітальні ремонти, скорочення простоїв рухомого складу, збільшення міжремонтного пробігу, підвищення рівня безпеки експлуатації. Досвід експлуатації великогабаритних дизельних двигунів (локомотивів, вантажних автомобілів, суден) свідчить, що регулярний контроль стану мастила дозволяє зменшити експлуатаційні витрати на 20...25 %, а також підвищити коефіцієнт технічної готовності машин.

Отже, сучасний етап розвитку транспортної галузі потребує переходу від планово-профілактичної системи ТО до обслуговування за фактичним станом. Ефективним інструментом для реалізації цього підходу є аналіз мастильних матеріалів, який дозволяє оцінювати стан двигуна без його розбирання [4-9]. Спектральний аналіз мастила дає змогу точно визначити концентрацію металевих домішок і, відповідно, рівень зносу деталей. Регулярне застосування даного методу забезпечує своєчасне виявлення несправностей, продовження ресурсу двигуна та зниження експлуатаційних витрат, а розвиток технологій діагностики мастил має велике практичне значення для транспортних підприємств і може стати основою для впровадження інтелектуальних систем моніторингу технічного стану автопарку.

Крім класичного спектрального аналізу (елементний аналіз металів зносу) з розвитком технологій з'являються доповнюючі й нові підходи:

- застосування імпедансної спектроскопії, діелектричного аналізу мастила та штучного інтелекту (soft-computing) для оцінки стану мастила за його електричними характеристиками;

- використання методів УФ – видимої (UV – vis) та ближньої інфрачервоної (NIR) спектроскопії для виявлення розбавлення палива (fuel dilution) у відпрацьованому мастилі;

- поява портативних спектрометрів FTIR (наприклад, система «eraspec oil») для оперативного аналізу мастила без необхідності висилання зразків до лабораторії;

- інтеграція даних спектрального аналізу у системи моніторингу стану обладнання, що дозволяє створювати електронні бази даних технічного стану рухомого складу, переходячи до обслуговування за фактичним станом. Це дає можливість формувати аналітичні моделі, прогнозувати ремонтні інтервали, оптимізувати витрати.

Таким чином, спектральний аналіз мастила стає не лише інструментом діагностики, але й складовою цифрової трансформації технічного обслуговування.

Для ефективного застосування спектрального аналізу мастила на транспортному підприємстві доцільно врахувати наступні рекомендації.

1. Запровадити регулярний забір проб мастила з дизельних двигунів з урахуванням конкретного режиму експлуатації, пробігу чи мотогодин.

2. Визначити ключові елементи зносу, характерні для типового двигуна підприємства (наприклад, Fe, Cu, Al, Cr, Pb) та встановити нормативні порогові значення для кожного елемента, з урахуванням історичних даних.

3. Створити систему трекінгу – запис результатів аналізів у базу даних, побудова трендів концентрацій, фіксування резких змін.

4. Інтерпретувати отримані дані з урахуванням експлуатаційних умов (холості ходи, навантаження, температури), як це показано у численних дослідженнях.

5. Враховувати не лише елементи зносу, але й інші параметри мастила – в'язкість, присадки, кількість сажі, паливне розбавлення, окиснення. Це дозволяє більш комплексно оцінити стан двигуна.

6. Проводити аналіз витрат та вигод – економічне обґрунтування впровадження такого методу (зменшення простоїв, відстрочка капремонтів, підвищення ресурсу техніки).

7. Інтегрувати отримані дані зі спектрального аналізу у систему моніторингу технічного стану підприємства, використовувати аналітичні моделі для прогнозування залишкового ресурсу двигунів.

У підсумку можна констатувати, що метод спектрального аналізу мастильних матеріалів є сучасним, високоефективним інструментом технічної діагностики дизельних двигунів. Його застосування дозволяє:

- без розбирання двигуна отримати об'єктивну інформацію про стан вузлів і агрегатів;
- оцінити інтенсивність зносу, визначити, які саме деталі піддаються руйнуванню;
- прогнозувати залишковий ресурс двигуна і оптимізувати інтервали технічного обслуговування;
- знизити експлуатаційні витрати, підвищити технічну готовність рухомого складу, підвищити рівень безпеки.

Перехід від планово-профілактичної системи технічного обслуговування до системи, що базується на фактичному технічному стані, є стратегічно правильним для сучасних транспортних підприємств. Аналіз мастильних матеріалів, і зокрема спектральний аналіз, може стати основою для реалізації цього підходу.

Для подальшого розвитку рекомендовано: розробити стандартизовані методики для конкретних типів дизельних двигунів, впровадити портативні спектрометри, інтегрувати дані у цифрові системи моніторингу, а також продовжити наукові дослідження щодо кореляції концентрацій зносу із реальним залишковим ресурсом агрегатів.

Список використаних джерел

1. Технічна експлуатація автомобілів : навч. посіб. / В.М. Дембіцький, В.І. Павлюк, В.М. Придюк. Луцьк : Луцький НТУ, 2018. 473 с.
2. Практичні основи діагностування автомобільних двигунів : навч. посіб. / Мигаль В. Д., Корогодський В. А., Воронков О. І., Нікітченко І. М. Харків : ХНАДУ, 2021. 412 с.
3. Застосування спектрального аналізу моторного мастила для прогнозування залишкового ресурсу двигунів / С. Федоряченко та ін. Вісник ХНАДУ. 2021. вип. 94. С. 138–142.
4. Аулін В.В., Кульова Д.О., Гриньків А.В., Лисенко С.В. Оцінювання ризиків несхоронних перевезень нафтопродуктів автомобільним транспортом. Центральнотраїнський науковий вісник. Технічні науки. 2024. Вип. 10(41), ч.ІІ, С. 205-213. DOI: [https://doi.org/10.32515/2664-262X.2024.10\(41\).2.205-213](https://doi.org/10.32515/2664-262X.2024.10(41).2.205-213)
5. Кульова Д.О., Магопєць С.О., Лівіцький О.М. Безпека дорожнього руху в Україні: оцінювання ризиків і перспективи цифровізації. Центральнотраїнський науковий вісник. Технічні науки. 2025. Вип. 11(42), ч.ІІ. С. 298-312. DOI: [https://doi.org/10.32515/2664-262X.2025.11\(42\).2.278-285](https://doi.org/10.32515/2664-262X.2025.11(42).2.278-285)
6. Кульова Д.О. Застосування концептуального підходу ризик-менеджменту в сфері безпеки руху на транспорті. Центральнотраїнський науковий вісник. Технічні науки. 2024. Вип. 10(41), ч.І. С. 261-269. DOI: [https://doi.org/10.32515/2664-262X.2024.10\(41\).1.261-269](https://doi.org/10.32515/2664-262X.2024.10(41).1.261-269)
7. Аулін В.В., Кульова Д.О., Варваров В.В. Виявлення, аналіз і прогнозування параметрів ризику безвідмовного навантаження готової продукції на транспортно-логістичному терміналі підприємства. Центральнотраїнський науковий вісник. Технічні науки. 2025. Вип. 11(42), ч.І. С. 263-271. DOI: [https://doi.org/10.32515/2664-262X.2025.11\(42\).1.263-271](https://doi.org/10.32515/2664-262X.2025.11(42).1.263-271)
8. Аулін В.В., Гриньків А.В., Лисенко С.В., Головатий А.О., Голуб Д.В. Теоретичні і методологічні основи логістики транспортних і виробничих систем / монографія під заг. ред. д.т.н., проф. Ауліна В.В. – Кропивницький: Видавець Лисенко В.Ф., 2021. – 503 с.
9. Аулін В. В., Митник М. М., Ляшук О. Л., Гевко І. Б., Цьонь О. П., Лисенко С. В., Гудь В. З., Гриньків А. В., Голуб Д. В., Бабій М. В. Формування та функціонування логістичних центрів в регіональних транспортно-логістичних системах України: монографія за заг. ред. д.т.н., проф. Ауліна В. В., д.т.н., проф. Ляшука О. Л. – Тернопіль : ФОП Паляниця В. А., 2024. – 393 с.