

Слащук В.О.,
Слащук О.О.

Хмельницький національний університет,
м. Хмельницький, Україна
E-mail: Slashchuk_Viktor@ukr.net

АКУСТО - ЕМІСІЙНИЙ АНАЛІЗ ПЕРЕХІДНИХ ПРОЦЕСІВ РОБОТИ ДВИГУНА ВНУТРІШНЬОГО ЗГОРАННЯ

УДК 621.8:534.6:534.4

Методом акусто-емісійного аналізу діагностовано перехідні та ненормативні режими роботи двигунів внутрішнього згорання двох типів, що широко застосовуються в автомобілебудуванні. Показано, що первинною причиною виникнення вібрацій при нестаціонарній роботі двигуна внутрішнього згорання є порушення процесу запалення та(або) стиснення запальнової суміші в циліндрах двигуна. Рівень вібрацій такого походження значно перевищує вібрації викликані незбалансованістю роторних елементів двигуна.

Ключові слова: акустична емісія, частота коливань, вібрація.

Вступ

Одним із найнебезпечніших факторів, що пришвидшують зношування рухомих та нерухомих з'єднань є вібрації, що виникають при експлуатації обладнання, що працюють в умовах змінних циклічних навантажень [1].

Автомобільний двигун являє собою складну динамічну технічну систему. Конструкція автомобільного двигуна постійно удосконалюється і ускладнюється, але перелік його основних систем і механізмів залишається незмінним [2]. При роботі транспортних засобів з двигунами роторного типу, для прикладу двигуни внутрішнього згорання, можуть виникати вібрації джерелом яких найчастіше вважаються не урівноваження роторів [3, 4].

Альтернативною причиною виникнення неузгоджених вібрацій є спалювання запальнової суміші в циліндрах двигуна, оскільки маловірогідна деформація чи пошкодження рухомих елементів двигуна, які можуть призвести до подібних вібрацій і забезпечити справну роботу.

Запальні процеси викликають вібраційні хвилі, що передаються від двигуна до усіх елементів конструкції. Варто зазначити, що вібрація, що виникає в двигуні, є вибухового(ударного) виду, тому доцільно використовувати для реєстрації даних обладнання, здатне проводити аналіз в режимі реального часу.

Акусто-емісійний метод широко застосовується в аналізі автомобільних двигунів внутрішнього згорання, турбогенераторів, відцентрових насосів та компресорів, зубчастих передач тощо [5, 6].

Найбільш небезпечними при експлуатації конструкцій із двигуном внутрішнього згорання є перехідні процеси, наприклад запуск, зупинка, збільшення потужності тощо. Такі режими змінюють частоту хвилі і, тим самим, інтенсифікують процес зношування поверхонь кріплень.

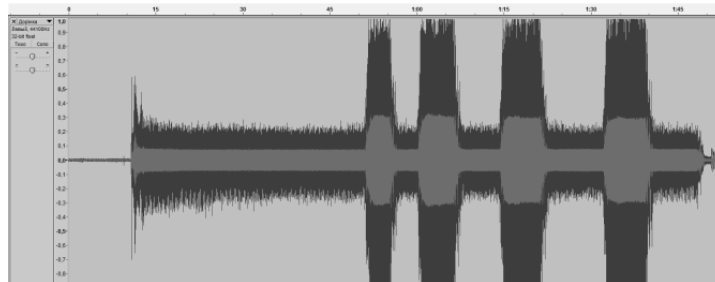
Метою роботи є встановлення реальних причин та механізмів ненормативних вібрацій при роботі двигуна внутрішнього згорання.

Викладення основного матеріалу

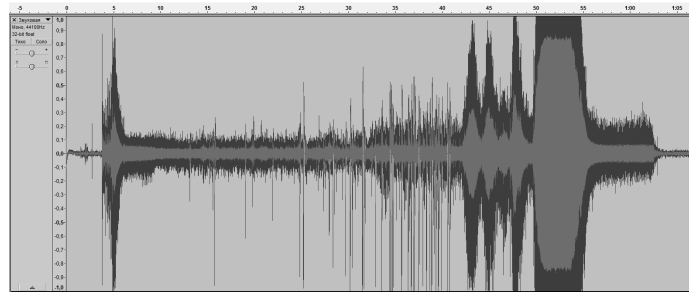
Дослідження проводились із дизельним двигуном об'ємом 1,9 л TDI з системою впорскування палива з насос-форсунками, автомобіля Volkswagen Caddy та бензиновим двигуном об'ємом 1,2 л, автомобіля ЗАЗ-1102 Таврія. Обидва автомобіля обладнані чотирьох циліндровими рядними двигунами з порядком запалювання циліндрів 1 - 3 - 4 - 2 [7 - 9].

Акустично - емісійний метод дозволив отримати акустограми роботи двигуна автомобілів та спектри частот коливань, які виникають при вибухах в циліндрах і передаються до всіх елементів конструкції автомобіля.

Данні записувались за допомогою мікрофона Media-tech SFX microphone MT383. Обробка даних здійснювалась програмою Audacity 2.0.4. Загальні акустограми роботи двигунів показані на рис. 1.



а



б

**Рис. 1 – Загальні акустограми роботи двигунів:
а – дизельний двигун 1,9 л. TDI;
б – бензиновий двигун 1,2 л. ЗАЗ-1102**

Найнебезпечнішим етапом роботи двигуна 1,9 TDI є запуск. Механічна система переходить зі сталого статичного стану в робочий, при цьому відбувається різкий перехід вибухоподібного типу. Віб-рація, яка виникає при роботі двигуна, передається по всьому автомобілю. На рис. 2 показана акустограма запуску двигуна 1,9 TDI.

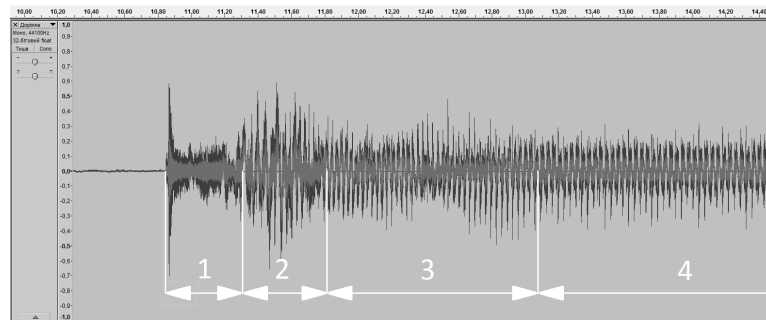


Рис. 2 – Акустограма запуску двигуна 1,9 TDI

Ділянка 1 на рис. 2 – робота стартера двигуна, ділянка 2 – запуск двигуна, стартові вибухи запальної суміші в циліндрах, ділянка 3 – нестационарний режим роботи двигуна при старті, частоти коливань не прийшли до нормативної роботи, ділянка 4 – стабільна робота двигуна.

Інший нестационарним режимом роботи є зупинка двигуна, акустограма зупинки двигуна 1,9 TDI показана на рис. 3.

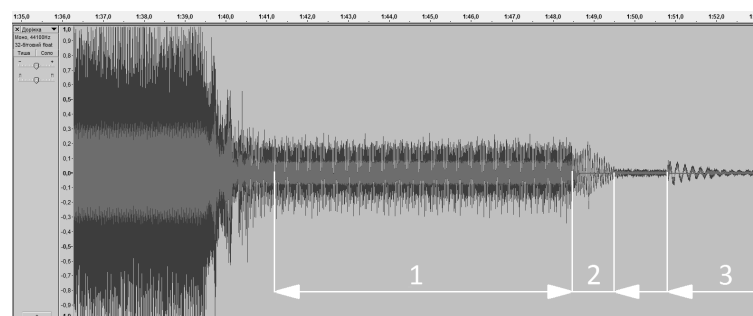


Рис. 3 – Акустограма зупинки двигуна 1,9 TDI

Ділянка 1 на рис. 3 – стабільна робота двигуна, ділянка 2 – вимкнення двигуна, запальна суміш не поступає в циліндри, згасаючі вібрації при відсутності джерела коливань, ділянка 3 – завершальний етап роботи двигуна, вимкнення електронних систем, підготовка до наступного старту.

Аналогічні процеси спостерігаються при роботі бензинового двигуна 1,2 1102. На рис. 4 показана акустограма процесу запуску двигуна 1,2 ЗАЗ-1102.

Ділянка 1 на рис. 4 – провертання ключа в замку запалювання, запуск робочих систем автомобіля, ділянка 2 – робота стартера двигуна, ділянка 3 – запалювання двигуна, запальна суміш почала вибухати в циліндрах, ділянка 4 – нестационарна робота двигуна при запалюванні, коливання двигуна не вийшли в нормативну роботу, ділянка 5 – стабільна робота двигуна.

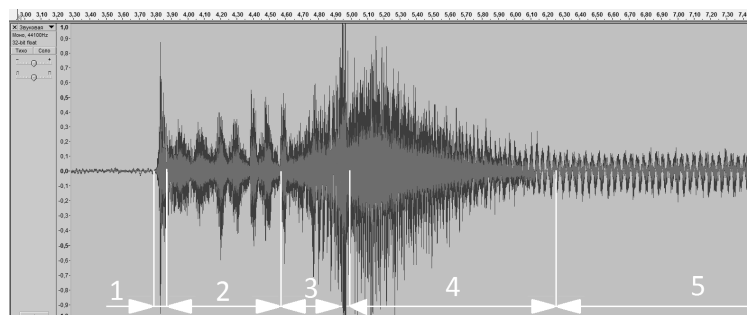


Рис. 4 – Акустограма запуску двигуна 1,2 ЗАЗ-1102

На рис. 5 показана акустограма вимкнення двигуна 1,2 ЗАЗ-1102.

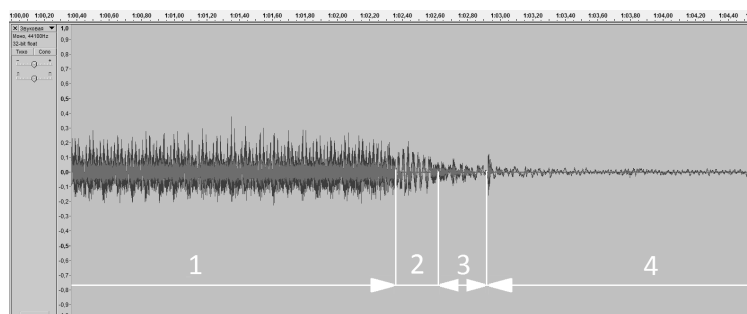
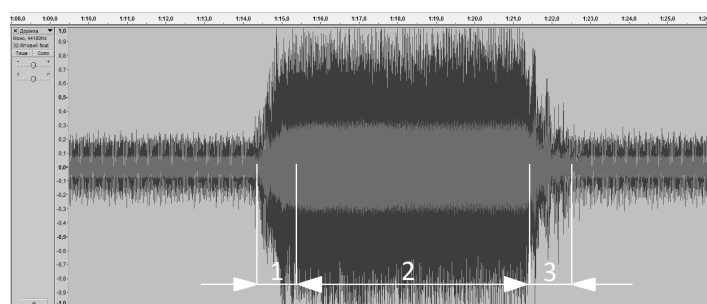


Рис. 5 – Акустограма вимкнення двигуна 1,2 ЗАЗ-1102

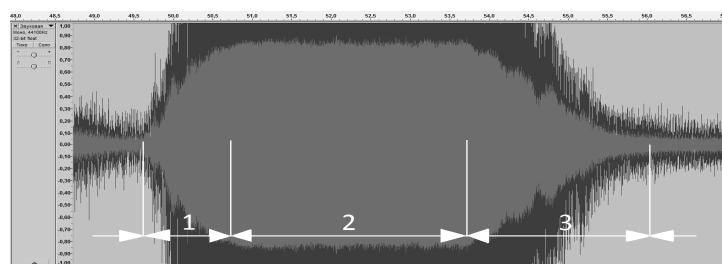
Ділянка 1 на рис. 5 – стабільна робота двигуна, ділянка 2 – вимкнення двигуна, нестационарні, затухаючі коливання двигуна, ділянка 3 – коливання інших конструкційних елементів автомобіля, ділянка 4 – завершальний етап роботи двигуна, вимкнення електричних систем, підготовка до наступного старту.

Процес старту викликає найбільші нестационарні вібрації але цей процес займає незначний період часу і не є критичним при правильній експлуатації двигуна та його належного стану.

Перехідні процеси присутні при збільшенні потужності двигуна, тобто при натисненні на педаль акселератора. Акустограма такою процесу показана на рис. 6.



а



б

Рис. 6 – Акустограма перехідних процесів:
а – режим «прогазовки» двигуна 1,9 TDI;
б – режим «прогазовки» двигуна 1,2 ЗАЗ-1102

Ділянка 1 на рис. 6 – перехідний режим роботи двигуна при збільшенні обертів, ділянка 2 – стаціонарний режим роботи двигуна з максимальною потужністю, ділянка 3 – перехідний режим роботи при зменшенні обертів.

Ненормативні процеси можуть виникати при стабільній роботі двигуна, коли двигун працює і виникають аварійні ситуації в процесі робочого циклу циліндрів.

На рис. 7 показана акустограма стабільної роботи двигуна 1,9 TDI, як приклад стабільної роботи.

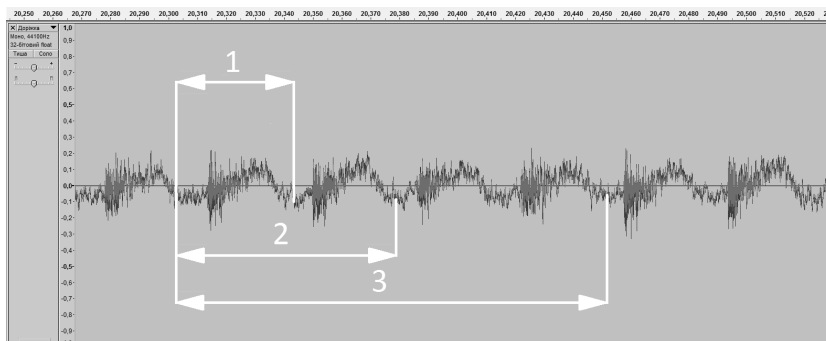
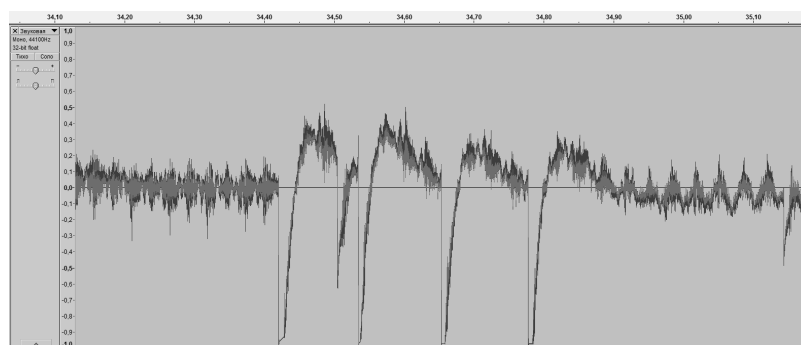


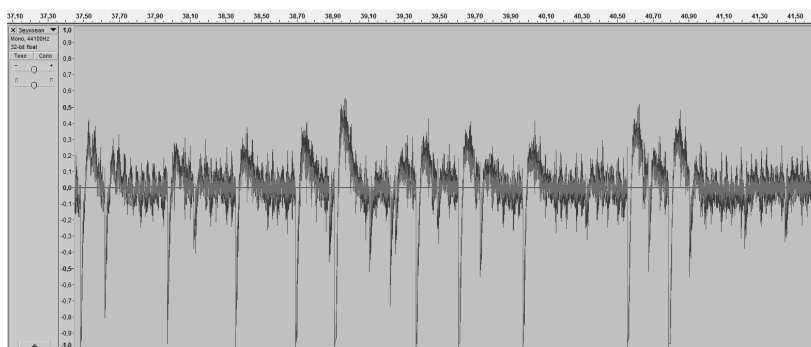
Рис. 7 – Акустограма стабільної роботи двигуна 1,9 TDI

Ділянка 1 на рис. 7 – стиснення та запалювання запалювальної суміші в циліндрі, ділянка 2 – оберт колінчастого вала, ділянка 3 – оберт розподільчого вала двигуна.

На рис. 8 показана робота двигуна 1,2 л. ЗАЗ-1102 із перебоями в роботі.



а



б

Рис. 8 – Робота двигуна ЗАЗ-1102 із перебоями в роботі:
а – втрата компресії в циліндрах двигуна 1,2 л. ЗАЗ-1102;
б – каскадна (лавиноподібна) втрата потужності в двигуні 1,2 л. ЗАЗ-1102

Збої в роботі циклів двигуна призводять до нестационарних процесів, які в свою чергу, призводять до зміни частоти коливань, що призводить до руйнування кріплень, або інтенсифікації їх зношування.

Циклічне повторення нестационарного режиму роботи двигуна внутрішнього згорання виявляє пошкодження одного з циліндрів. Зовнішній вигляд цього сигналу (рис. 8) характерний для процесу який

виникає в циліндрі зі зменшеною компресією. Причиною виникнення нестационарного процесу, показаного на рисунку 8 може бути порушення герметизації камери внутрішнього згорання (тріщина ущільнюючого матеріалу, тріщина блоку циліндра, поршневої кришки, самого поршня) [10].

При значних змінах в роботі циліндрів виникають лавиноподібні збої, що призводить до раптової втрати потужності і неможливості продовжувати роботу, двигун зупиняється. Різка зупинка, після нестационарного режиму роботи, також призводить до зміни частоти коливань і вносить зміни в режим зношування з'єднань.

На рис. 9 показаний спектр роботи дизельного двигуна 1,9 л. TDI.

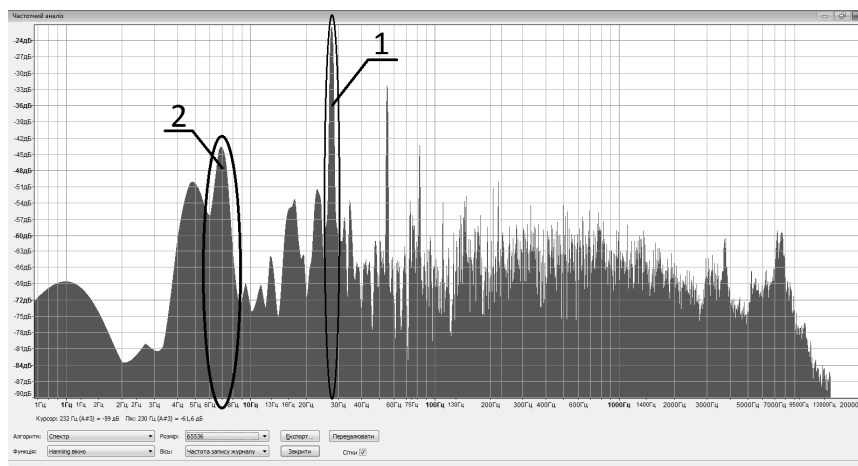


Рис. 9 – Спектр стабільної роботи двигуна

При стабільній роботі чітко видно частоту вибухів запальної суміші в циліндрах – ділянка 1 та частоту обертання колінчастого вала двигуна – ділянка 2. Прослідковуються чіткі каскади передачі енергії від джерела вібрацій.

На рис. 10 показаний спектр нестационарної роботи двигуна 1,2 л. ЗАЗ-1102.

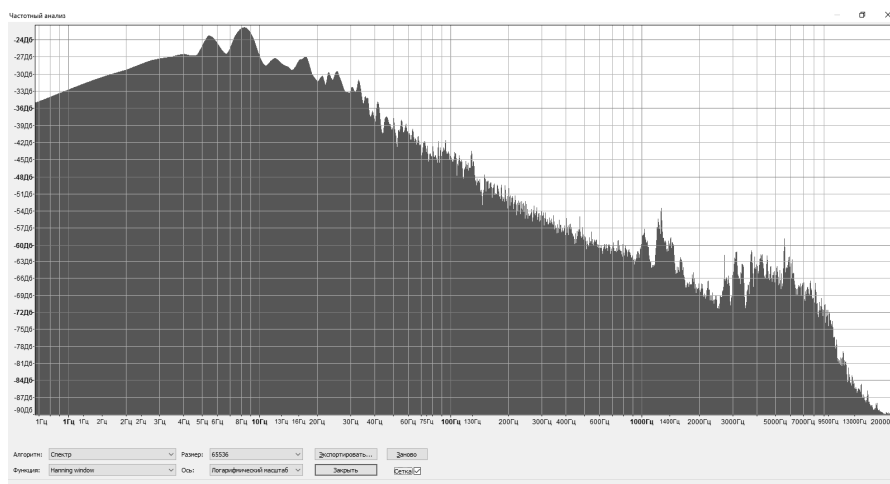


Рис. 10 – Спектр ненормативної роботи двигуна

Нестационарні процеси роботи не дають чітких частот коливань, що призводить до хаотичних вібрацій і руйнування елементів двигуна та всіх інших деталей та кріплень автомобіля.

Висновки

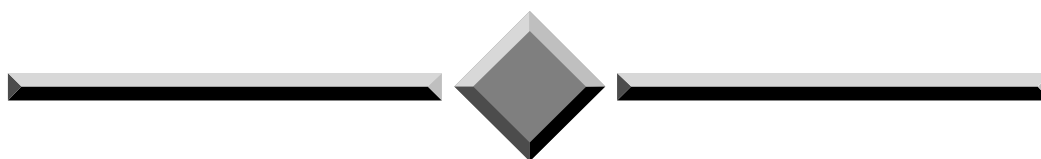
За допомогою акусто-емісійного методу вдалося проаналізувати всю роботу двигунів, визначити робочі частоти, виявити та виокремити нестационарні процеси та визначити їх вплив на загальну роботу автомобіля.

Первинною причиною виникнення вібрацій при нестационарній роботі двигуна внутрішнього згорання все-таки є порушення процесу запалення та(або) стиснення запалювальної суміші в циліндрах двигуна.

Література

1. Вельбой В. П., Диха К. О., Бабак О. П. Аналіз умов навантаження та змащення підшипникових систем ковзання механізмів газорозподілу ДВЗ // Проблеми трибології (Problem Of Tribology) 2016. – № 2 – С. 97-103.
2. Кукурудзяк Ю. Ю. Система моніторингу технічного стану автомобільного двигуна // Матеріали VIII міжнародної науково-практичної конференції “Сучасні технології та перспективи розвитку автомобільного транспорту” – 2015. – С. 138-139.
3. Урівноважування обертювних мас (роторів). – http://mmi - dmm.kpi.ua /images/pdf/ personnel / Zakhov / LERCYI/Lec_9.pdf.
4. Сотніков В. С. Динаміка роторів з автобалансирами-демпферами для віброзахисту. Дис. кан. тех. наук: 05.02.09 Кіровоградський національний технічний університет. – Кіровоград. – 2002. – С. 49-57.
5. Двигатель 1,9 л TDI с системой впрыска топлива с насос-форсунками. – Volkswagen Technical Site: <http://volkswagen.msk.ru>.
6. VW Caddy с 2010 года выпуска. Руководство по ремонту и эксплуатации. “Монолит”, Днепропетровск, 2012.
7. Автомобили ЗАЗ 1102-1105 и их модификации. Руководство по ремонту и каталог деталей. “АТЛАСС-ПРЕСС”, Москва, 2005.
8. Віброакустична діагностика. – Технічна енциклопедія TechTrend: <http://techtrend.com.ua/index.php?newsid=303>.
9. Антонєць Є.В.; Конюхов Г.А.; Нікітін К.Е.; Сазанів В.Е. «Спосіб діагностування та прогнозування технічного стану двигунів внутрішнього згорання в процесі їх роботи» Патент РФ №2151384, МПК G01M 15/00, опубл. 2000.06.20, БІ №12 за 2003 р.
10. Компресія двигуна – які несправнеості можуть стати причиною його падіння. - <http://avtgid.co.ua/remont/100-kompresia-dvigyna.html>.

Поступила в редакцію 03.10.2016



Проблеми трибології
“Problems of Tribology”
E-mail: tribosenator@gmail.com

Slashchuk V. O. Slashchuk O. O. Acoustic-emission analysis unsteady work of combustion engine.

By acoustic emission analysis diagnosed non-normative and transitional modes of work of internal combustion engines two types that are widely used in the automotive industry. It is shown that the primary cause of vibration at unsteady the engine work process is a violation of inflammation and (or) compression incendiary fuel mixture in the cylinders of the engine. Vibration level, what induce by combustion fuel mix ignition in the cylinders considerably exceeds the fluctuations that induce unbalanced rotary elements in the engine.

Keywords: acoustic emission, oscillation frequency, vibration.

References

1. Vel'boy V. P., Dykha K. O., Babak O. P. Analiz umov navantazhennya ta zماشchennya pidshypnykovykh system kovzannya mekhanizmiv hazorozpodilu DVZ. Problemy trybolohiyi (Problem Of Tribology) 2016, №2, st. 97-103.
2. Kukurudzyak Yu. Yu. Systema monitorynhu tekhnichnoho stanu avtomobil'noho dvyhuna // Materialy VIII mizhnarodnoyi naukovo-praktychnoyi konferentsiyi "Suchasni tekhnolohiyi ta perspektyvy rozvytku avto-mobil'noho transportu", 2015 st. 138-139.
3. Urivnovazhuvannya obertovykh mas (rotoriv). – [http://mmi-dmm.kpi.ua / images/pdf / personnel/Zakhov/LERCYI/Lec_9.pdf](http://mmi-dmm.kpi.ua/images/pdf/personnel/Zakhov/LERCYI/Lec_9.pdf).
4. Sotnikov V. S. Dynamika rotoriv z avtobalansyramy-dempferamy dlya vibrozakhystu. Dys. kan. tekhn. nauk: 05.02.09 Kirovohrads'kyy natsional'nyy tekhnichnyy universytet. Kirovohrad 2002 rik st 49-57.
5. Dvyhatel' 1,9 l TDI s systemoy vpryaska toplyva s nasos-forsunkamy. Volkswagen Technical Site: <http://volkswagen.msk.ru>.
6. VW Caddy s 2010 hoda vyruska. Rukovodstvo po remontu y ekspluatatsyy. "Monolyt", Dnepropetrovsk, 2012.
7. Avtomobyly ZAZ 1102-1105 i ikh modyfykatsiy. Rukovodstvo po remontu y katalog detaley. "ATLASS-PRESS", Moskva, 2005.
8. Vibroakustychna diahnostryka. – Tekhnichna entsyklopediya TechTrend: <http://techtrend.com.ua/index.php?newsid=303>.
9. Antonets' Ye.V.; Konyukhov H.A.; Nikitin K.E.; Sazaniv B.E. «Sposib diahnostuvannya ta prohnozu-vannya tekhnichnoho stanu dvyhuniv vnutrishn'oho z'horyannya v protsesi yikh roboty» Patent RF №2151384, MPK G01M 15/00, opubl. 2000.06.20, BI №12 za 2003 r.
10. Kompresiya dvyhuna – yaki nespravneosti mozhut' staty prychnoyu yoho padinnya. <http://avtogid.co.ua/remont/100-kompresia-dvigyna.html>.