УДК 621.4:629.113.01

С.О. Магопець, доц., канд. техн. наук, О.В. Бевз, доц., канд. техн. наук
Кіровоградський національний технічний університет

Дослідження впливу внутрішнього опору системи випуску відпрацьованих газів на ефективні показники роботи

В статті теоретично та експериментально досліджується влив стану систем випуску відпрацьованих газів автомобілів на ефективні показники роботи їх двигунів, а саме: величини ефективної питомої потужності, ефективного крутного моменту, погодинної та питомої витрати палива. Проведені дослідження дозволили визначити границю допустимої величини зворотного тиску у випускній системі, яка обумовлює зниження величин ефективних показників до граничних значень та робить малоефективним подальшу експлуатацію двигуна (автомобіля).
двигун, опір, тиск, потужність, коефіцієнт наповнення, коефіцієнт залишкових газів, крутний момент, випускна система, відкладення, відпрацьовані гази, ефективні показники

На сьогодні, нажаль, для підвищення детонаційної стійкості бензинів окремі виробники або реалізатори нафтопродуктів додають до них спеціальні активні хімічні сполуки. Вищезгадані активні хімічні сполуки, які є основою залізовмісних домішок та входять до складу бензину, утворюють в результаті згорання нагар, який має червоно-коричневий відтінок.

© С.О. Магопець, О.В. Бевз, 2010

Осідаючи на електродах, керамічному конусі та корпусах свічок запалення, такий нагар сприяє витокам електрики, необхідної для іскроутворення. При появі збоїв в процесі пуску та при роботі двигуна, більшість автовласників традиційно втручаються в систему запалювання, яка дійсно перша починає давати збої, та практично не беруть до уваги той факт, що такі самі відкладення осідають й на внутрішній поверхні каналів системи випуску зменшуючи тим самим їх прохідний переріз та ускладнюючи вивільнення циліндра від них й відповідно зменшуючи кількість свіжої суміші, яка повинна надійти в циліндри двигуна.

Найчастіше ж втручання у систему випуску відбувається при виявленні зовнішніх дефектів таких як: осередків корозії та прогарів. Разом з тим, для сучасних автомобілів оснащених електронними системами контролю за роботою двигунів використання низькоякісного палива ступінь небезпеки підвищується в декілька разів, що обумовлюється накопиченням відкладень на робочих елементах лямбда-зондів та у каталізаторах. Через порушення в роботі цих вузлів блок електронного керування двигуном в кращому випадку може перейти в аварійний режим керування, а в гіршому починаються збої в процесі пуску та при роботі двигуна. При цьому частина палива в незгорілому стані потрапляє в каталітичний нейтралізатор системи випуску й за рахунок високої температури догорає в ньому. Результатом є оплавлення керамічних сот нейтралізатора й часткове або повне перекриття каналу випускної системи для проходження відпрацьованих газів. При такій ситуації, навіть після заливання якісного бензину, очищення свічок запалення та відновлення роботи системи запалення ефективні показники двигуна залишаються занизькими.

Причина цього полягає у тому, що конструктивно саме випускна система впливає на величини цих показників й обумовлює працездатність двигуна в цілому - конструкція випускного трубопроводу, впливаючи на ступінь очищення циліндрів від відпрацьованих газів, також оказується пов'язаною з наповненням циліндрів горючою

сумішшю.

Конструкція випускного трубопроводу повинна відповідати наступним вимогам:

а) швидкість відпрацьованих газів у випускній трубі не повинна бути вище 30…35 м/с, для чого діаметр труби роблять рівним 0,5…0,6 діаметра циліндра або 1,5 перетину впускного трубопроводу;

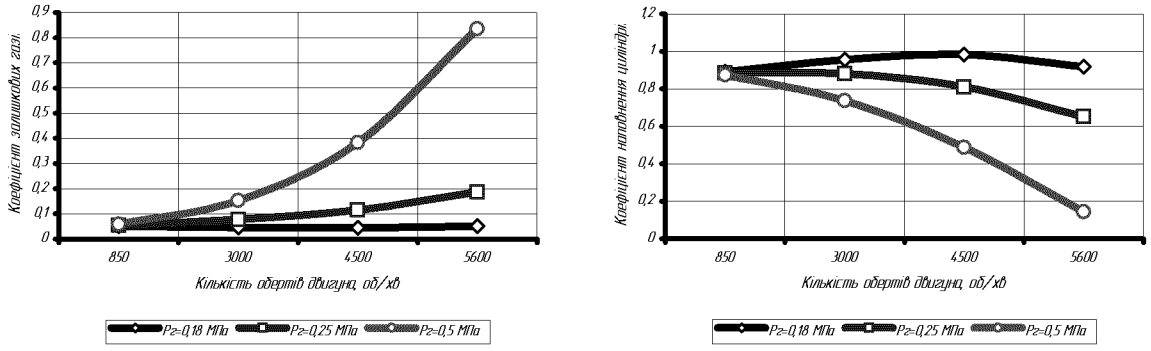
б) вихідні відпрацьовані гази одного циліндра не повинні створювати протитиску для газів іншого (сусіднього) по роботі циліндра, що має місце в багатоциліндрових двигунах.

Відкладення ж на поверхнях каналів системи випуску відпрацьованих газів, втому числі й при обгоранні масла в камері згорання, поступово зменшують корисні площі перетину випускних трубопроводів та забивають соти нейтралізаторів, збільшують внутрішній тиск та опір виходу газів, призводять спочатку до “розбалансування” системи випуску – появі так званих прогарів, а потім й до повного виходу її з ладу за рахунок руйнування керамічних блоків каталізаторів, відокремлення елементів перегородок та забивання внутрішніх каналів глушників, відокремлення сполучень банок глушників із трубами в зоні зварних з’єднань.

Все вищесказане дає підстави зробити наступний висновок - несправності випускної системи серйозна проблема, яка вимагає дослідження та розробки практичних рекомендацій щодо доцільності й моменту втручання для ремонту.

На першому етапі нами було проведено теоретичні дослідження впливу опору випускної системи автомобіля на зміну ефективних показників його двигуна (на прикладів автомобіля ВАЗ 2106). Ефективні показники роботи двигуна визначалися для чотирьох швидкісних режимів його роботи (n_{xx}, n_M, n_N та $n_{\max}$) використовуючи прикладну програму “MathCAD 2001” для двигуна нормальним - $P_{г1} = 1{,}18P_0$ ($P_0 = 0{,}1МПа$ - атмосферний тиск) та із підвищеними опорами системи випуску - $P_{г2} = 0{,}25МПа$ та $P_{г3} = 0{,}5МПа$ за загальноприйнятою методикою після проведення теплового розрахунку [1, 2].

Результати проведених розрахунків в порівняльному вигляді надані в таблиці 1 та на рисунку 1 і 2.



а) б)

Рисунок 1 - Зміни коефіцієнтів залишкових газів $\gamma_г$ (а) та коефіцієнта наповнення циліндрів свіжою сумішшю η_V (б) двигуна ВАЗ 2106 в залежності від збільшення опору випускної системи

Таблиця 1 - Результати теоретичного дослідження зміни ефективних показників роботи двигуна ВАЗ 2106 при різних ступенях внутрішнього опору випускної системи

Величина тиску у випускній системі, МПа	Кількість обертів колінчастого валу двигуна, об/хв	Коефіцієнт залишкових газів	Коефіцієнт наповнення	Ефективна потужність, кВт	Ефективний крутний момент , Нм	Питома витрата палива, г/(кВт год)	Погодинна витрата палива, кг/год
0,18	850	0,051	0,891	11,883	133,50	280,59	3,334
	3000	0,046	0,956	42,877	136,41	263,48	11,297
	4500	0,045	0,983	62,868	132,99	267,88	17,414
	5600	0,051	0,918	72,072	122,85	278,10	20,043
0,25	850	0,053	0,885	11,799	132,55	280,71	3,312
	3000	0,077	0,880	39,333	125,14	264,53	10,405
	4500	0,115	0,811	50,001	106,12	287,50	14,378
	5600	0,187	0,651	46,724	79,63	304,05	14,205
0,50	850	0,058	0,874	11,640	132,55	280,94	3,271
	3000	0,153	0,737	32,224	102,51	270,46	8,708
	4500	0,382	0,487	26,212	55,61	329,20	8,627
	5600	0,835	0,144	0,563	0,95	565,5	3,148

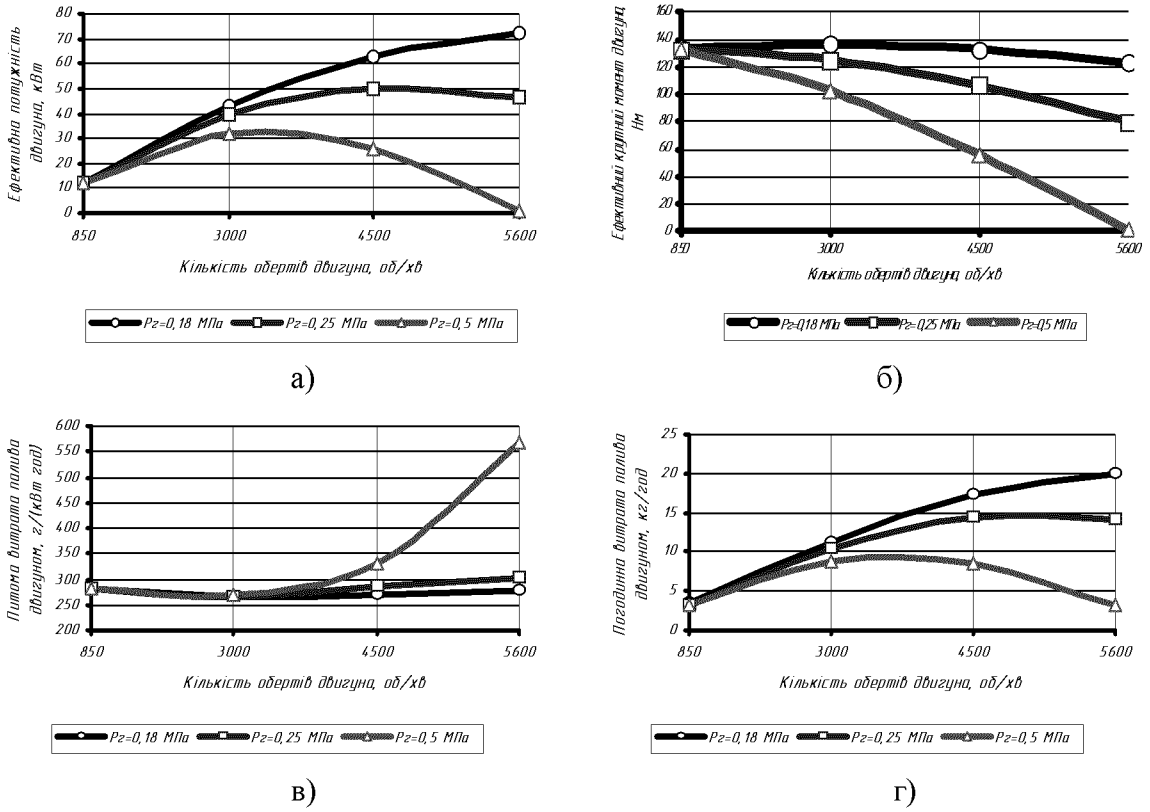


Рисунок 2 - Зміна ефективної потужності N_e (а), ефективного крутного моменту $M_к$ (б), питомої витрати палива q_e (в) та погодинної витрати палива G_m (г) двигуна ВАЗ 2106 в залежності від збільшення опору випускної системи

Такі результати свідчать про те, що технічний стан системи випуску значною мірою впливає на ефективні показники роботи двигуна та обумовлює його працездатність. Теоретичною межею в даному дослідженні виступало значення внутрішнього тиску 0,50 МПа, хоча за таких значень, згідно величини зниження потужності двигуна, його працездатність (здатність провести повний цикл перетворення енергії палива в механічну роботу) загалом мало ймовірна.

Тому в якості рекомендацій слід вважати гранично допустимою величиною тиску в системі випуску відпрацьованих газів двигунів автомобілів ВАЗ значення $P_г = 0{,}35 МПа$.

Для визначення технічного стану випускних систем та можливості їх подальшої експлуатації необхідно виміряти, який зворотний тиск (опір) створюється у випускній системі конкретного автомобіля. Проведені вище теоретичні дослідження впливу зміни величини тиску протидії відпрацьованих газів на ефективні показники роботи двигуна виявили необхідність контролю технічного стану випускних систем задля забезпечення високих експлуатаційних показників автомобіля.

Існує декілька різних за рівнем складності лабораторного обладнання методик виміру зворотного тиску у випускному трубопроводі. Найбільш простими засобами виміру тиску відпрацьованих газів у випускній системі є манометр, кілька з'єднувачів та трубок. Манометр повинний бути розрахований на вимір тиску порядку 0,7 МПа (кгс/см^2); в крайньому випадку, можна скористатися манометром для виміру тиску палива. Найкраще мати манометр із великою шкалою для полегшення вимірів.

Перш ніж приступити безпосередньо до вимірів величин тиску у випускних системах конкретних автомобілів, нами були проведені підготовчі операції, а саме - вварені різьбові втулки у випускні систему перед глушниками (якщо автомобіль був обладнаний каталізатором, то додавали ще й додаткову втулку перед ним). Різьбова втулка представляла собою просту шестигранну гайку з різьбою для встановлення трубки діаметром 3,2 мм (або 6,3 мм). Через високі температури в системі, під'єднання манометра до різьбового отвору вимагало додаткових операцій. З цією метою ми просвердлювали маленький отвір через заглушку випускної труби (ця заглушка мала такий же розмір різьби, як й у привареній гайці) та впаювали високотемпературним припоєм шматок сталевої трубки довжиною 300…450 мм (внутрішнім діаметром 3,2 мм (1/8 дюйма)) у просвердлений отвір. Сталева трубка призначалася для розсіювати надлишкового тепла від гарячої випускної системи, що дозволяло приєднувати гумовий шланг, який йде до манометра, без всіляких перешкод.

Зворотний тиск вимірювали на нерухомому автомобілі розміщеному на підйомнику імітуючи його розгін із повністю відкритою дросельною заслінкою. Для цього в кабіні залишався оператор який натискав на педаль акселератора у необхідний момент. При цьому, динаміка зміни зворотного тиску простежувалася при регулярному підвищенні обертів за показниками манометра.

Слід зазначити, що загалом будь-який зворотний тиск є небажаним, але до цьому потрібно підходити практично, так як неможливо домогтися нульового опору випускної системи потоку відпрацьованих газів, отже - необхідно орієнтуватися на допустимий інтервал зміни величини зворотного тиску. При цьому нами було враховано, що атмосферний тиск навколишнього середовища на виході із системи випуску є відмінним від нуля й складає 0,1 МПа.

Аналіз літературних джерел, хоча й не виявив даних щодо інтервалу зміни величин зворотного тиску у випускних системах різних автомобілів, дозволив поставити відправні точки. Так, в літературі подається інформація, що іноді навіть стандартна випускна система нового автомобіля може створювати протитиск до 0,4 МПа (й навіть більше на деяких автомобілях); хоча, при ретельному підборі глушників, каталізаторів та вихлопних труб той самий двигун може мати зворотний тиск величиною не більш 0,15 МПа (кгс/см^2).

Отримані з теоретичного дослідження дані дозволили прийняти значення допустимої величини зворотного тиску за показниками манометра близько 0,35 МПа (кгс/см^2) при роботі з повністю відкритою дросельною заслінкою в області підвищених обертів. У випадку збільшення значень тиску понад зазначену величину випускна система потребує ремонту (або заміни окремих її елементів).

Вимір величини зворотного тиску для випускної системи кожного дослідного автомобіля проводили в двох точках: до першого допоміжного глушника (для систем із каталітичним нейтралізатором – перед каталізатором) та перед основним глушником. Перед проведенням досліджень зворотного тиску всі системи двигуна відповідальні за величини ефективних показників було перевірено; недоліки в роботі систем усунуто, а саме: перевірено величину компресії в циліндрах (у разі зменшення величини компресії понад 20 % від номінальної та за умови неможливості її підвищення шляхом регулювань двигуни не піддавалися тесту), перевірено та відрегульовано теплові зазори в механізмах газорозподілення, перевірено роботу системи запалення й наостанок, перевірено технічний стан повітроочисної системи та системи паливоподачі тощо.

Вибіркові дослідження були проведені для автомобілів марки ВАЗ різних моделей. При цьому загальна кількість досліджених автомобілів склала 12 одиниць. Дослідження проводили після попереднього прогріву двигунів до робочої температури 85…90 °С [3]. Результати досліджень величин тисків у випускних системах автомобілів ВАЗ в залежності від швидкісних режимів роботи їх двигунів представлені на рисунку 3.

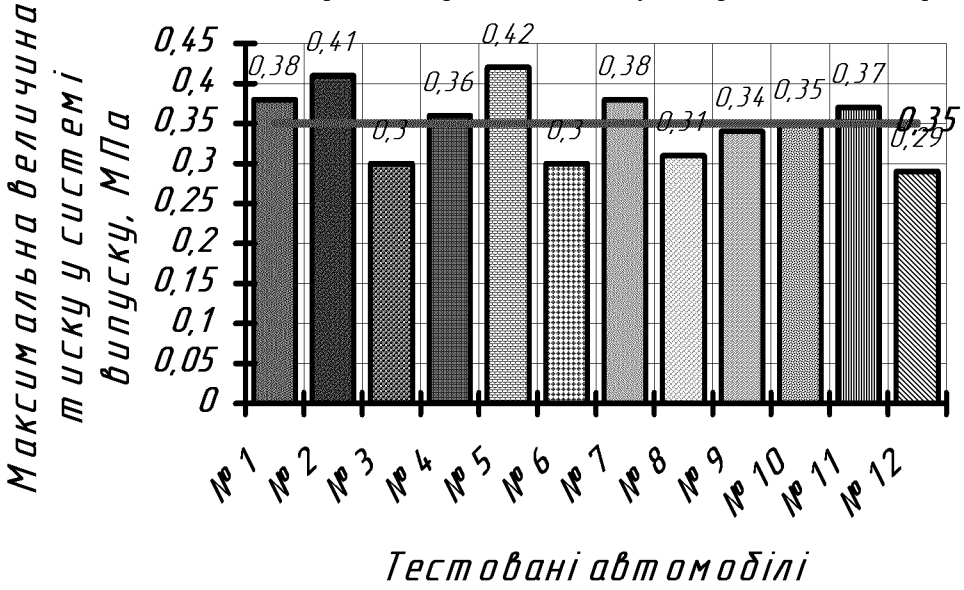


Рисунок 3 - Максимальні експериментальні величини зворотних тисків у випускних системах тестованих автомобілів ВАЗ

Аналіз отриманих експериментальних даних дає підстави зробити наступні висновки:

1. Практично 50% досліджених випускних систем автомобілів ВАЗ за показниками зворотного тиску не відповідають допустимому граничному рівню й потребують заміни.

2. Навіть зовнішня технічна справність елементів випускних систем не дає підстави гарантувати їх відповідність за показниками внутрішнього опору потоку відпрацьованих газів. Таку ситуацію можна пояснити двома причинами: по-перше, конструктивними недоліками та огріхами елементів випускних систем певних виробників на етапі їх проектування й виготовлення; по-друге, забиванням їх внутрішніх каналів рештками металевих, керамічних, звукопоглинальних структурних елементів самих випускних систем, які були зруйновані та відокремлені в процесі тривалої експлуатації під дією багаторазового ударного навантаження з боку потоку відпрацьованих газів.

3. Деякі власники транспортних засобів дотримуються стратегії лише зовнішнього відновлення цілісності випускної системи намагаючись тим самим відновити її працездатність. При цьому всі “зайві” елементи, які спричиняють

підвищення рівня шуму (згадані у 2-му висновку відокремлені частини глушників, каталізаторів тощо) просто витрушуються з банок глушників через зроблений в їх боковинах отвір із наступним його заварюванням (або зашпаровуванням). При цьому не береться до уваги той факт, що в середині глушників відпрацьовані гази повинні рухатися по чітко визначених траєкторіях, проходячи через певні стримуючі елементи; саме при такій організації досягається ефект зниження шумності при збереженні низького опору проходженню цих газів, що позитивно впливає в першу чергу на високі показники ефективної потужності двигуна.

4. Запропоновану методику можна рекомендувати для проведення оціночних досліджень технічного стану випускних систем та динаміки його зміни. Разом з тим, саме технології визначення внутрішнього тиску, хоча й відрізняється простотою проведення та доступністю застосованого вимірювального пристосування, має й стримуючі недоліки. В основному це стосується необхідності свердлування отворів у трубах із наступним приварюванням різьбових втулок; накриванням технологічних отворів заглушками, які в процесі експлуатації автомобіля можуть втратити рухомість ("прикипіти") та не надати можливості повторного під'єднання вимірювального інструменту через певний період часу.

Крім того, лише за показниками внутрішнього опору випускної системи (або її елементів) доволі важко визначити зміну таких показників роботи двигуна як ефективна потужність, ефективний крутний момент та ін. Для визначення величин означених показників доцільно застосовувати в комплексі пристосування для визначення тиску у випускній системі й сучасне діагностичне обладнання, яке дозволяє їх отримати, наприклад мотор-тестери або тягові стенди.

Список літератури

1. Колчин А.И. Расчет автомобильных и тракторных двигателей. / А. Колчин, В Демидов. – М.: Высшая школа, 1980. – 400 с.
2. Розрахунок автомобільних двигунів / [Дяченко В.Г., Саловський В.С., Кропівний В.М., Магопець С.О. та ін.] – Кіровоград: КДТУ, 2003. – 266 с.
3. Руководство по эксплуатации и техническому обслуживанию автомобилей ВАЗ. – М.: Атлас-пресс, 2003. – 223 с. – (официальное издание АО «АВТОВАЗ».)

С. Магопець, О. Бевз

Исследование влияния внутреннего сопротивления системы выпуска отработанных газов на эффективные показатели работы

В статье теоретически и экспериментально исследуется влияние состояния систем выпуска отработанных газов автомобилей на эффективные показатели работы их двигателей, а именно: величины эффективной удельной мощности, эффективного крутящего момента, почасового и удельного расхода топлива.

S. Magopec, O. Bevz

Research of influence of internal resistance of the system of issue of exhaust gases on the effective indexes of work

In the article theory and experimentally investigated influence of the state of the systems of issue of exhaust gases of cars on the effective indexes of work of their engines, namely: sizes of effective specific power, effective twisting moment, sentinel and specific expense of fuel.

Одержано 30.11.09