

Сорокін С.П.
Козаченко О.В.
Шкрегаль О.М.
Каденко В.С.
Блезнюк О.В.
Зозуля Д.

Харківський національний технічний
університет сільського господарства
імені Петра Василенка,
м. Харків, Україна
E-mail: o.v.kozachenko21@gmail.com

ОБҐРУНТУВАННЯ ПАРАМЕТРІВ
ПНЕВМОТЕСТЕРА ДЛЯ КОНТРОЛЮ
ТЕХНІЧНОГО СТАНУ ЦИЛІНДРО-ПОРШНЕВОЇ
ГРУПИ ДВИГУНА

УДК 629.083

Сорокін С.П., Козаченко О.В., Шкрегаль О.М., Каденко В.С., Блезнюк О.В., Зозуля Д. «Обґрунтування параметрів пневмотестера для контролю технічного стану циліндро-поршневої групи двигуна»

В роботі виконано аналіз технічних засобів і методів визначення технічного стану автотракторних двигунів внутрішнього згоряння, запропонована удосконалена конструкція пневмотестера (лік тестера) на базі одного вимірювального приладу. Виконано розрахунки пневматичних характеристик тестера для діагностування технічного стану циліндро-поршневої групи, розраховано конструктивно-режимні параметри пристрою: секундну витрату та швидкість витоків повітря в пневматичній схемі тестера, залежність приведеної площі щілини витоків від площі дроселя.

Встановлено що, для підвищення точності вимірювання діагностичного параметра та зниження ймовірності діагностичної похибки, конструкція пневмотестера повинна виконуватися по схемі з одним вимірювальним приладом значення тиску.

З точки зору термодинаміки процесів, що протікають у наведеній пневматичній схемі тестера, у розрахунках використовувалася термодинамічна теорія витоку газів і пари з резервуара необмеженої ємності, який являє собою деяку умовну посудину (камеру опорного тиску), у якій впродовж всього процесу витікання початкові параметри робочого тіла залишаються незмінними. Виходячи з цього, була розроблена математична модель, яка дозволила констатувати, що розраховані пневматичні характеристики тестера мають нелінійний характер. Встановлено, що секундна витрата та швидкість руху повітря через дросельний отвір у докритичній зоні перепадів тиску нелінійна, а у за критичній зоні секундна витрата та швидкість руху повітря остаються постійними і не залежать від перепаду тиску на дроселі.

При використанні запропонованої конструктивної схеми пневмотестера з діаметром отвору дроселя 1мм та тиском повітря в опорній камері $P_1=0,5\text{МПа}$ при $\beta =P_2/P_1= 0,67$ площа еквівалентної щілини (сумарна приведена площа витоків) f_2 дорівнює площі отвору дроселя f_1 . Доцільність застосування для діагностування ЦПГ двигунів внутрішнього згоряння пневмотестера з діаметром дроселя 1 мм при тиску повітря у камері опорного тиску 0,5МПа, у ДВЗ з таким технічним станом, коли умовна сумарна площа витоків f_2 перевищує площу дроселя f_1 не більше ніж у два рази. У зворотному випадку слід застосовувати дросель більшого діаметра або підвищувати тиск P_1 . Виходячи з цього пропонується комплектувати пневмотестери дроселями з різними діаметрами отворів: 0,6, 0,8, 1,0, 1,2мм.

Рівень номінального, допустимого і граничного значення діагностичного параметра для конкретного двигуна визначаються діаметром дросельного отвору, діаметром циліндра двигуна і перепадом тиску на дроселі. Запропонована методика розрахунку дозволяє аналітичним шляхом моделювати вплив різних додаткових конструктивних і режимних параметрів пневмотестера на точність і достовірність отриманої діагностичної інформації.

Ключові слова: двигун внутрішнього згоряння, діагностування, діагностичні прилади, параметри стану, пневмотестер, дросель.

Сорокин С.П., Козаченко А.В., Шкрегаль А.Н., Каденко В.С., Блезнюк А.В., Зозуля Д. «Обоснование параметров пневмотестера для контроля технического состояния цилиндрично-поршневой группы двигателя»

В работе выполнен анализ технических средств и методов определения технического состояния автотракторных двигателей внутреннего сгорания, предложена усовершенствованная конструкция пневмотестера (лик тестера) на базе одного измерительного прибора. Выполнены расчеты пневматических характеристик тестера для диагностирования технического состояния цилиндрично-

поршневой группы, рассчитано конструктивно-режимные параметры устройства: секундный расход и скорость истечения воздуха в пневматической схеме тестера, зависимость приведенной площади щели утечек от площади дросселя.

Установлено, что для повышения точности измерения диагностического параметра и снижения вероятности диагностической ошибки, конструкция пневмотестера должна выполняться по схеме с одним измерительным прибором давления воздуха.

С точки зрения термодинамики процессов, протекающих в предложенной пневматической схеме тестера, в расчетах использовалась термодинамическая теория течения газов и паров из резервуара неограниченной емкости, который представляет собой некую условную емкость (камеру опорного давления), в которой в течение всего процесса истечения начальные параметры рабочего тела остаются неизменными. Исходя из этого, была разработана математическая модель, которая позволила констатировать, что рассчитанные пневматические характеристики тестера имеют нелинейный характер.

Секундный расход и скорость движения воздуха через дроссельное отверстие в докритической зоне перепадов давления нелинейная, а в критической - секундный расход и скорость движения воздуха остаются постоянными и не зависят от перепада давления на дросселе.

При использовании предложенной конструктивной схемы пневмотестера с диаметром отверстия дросселя 1 мм и давлением воздуха в опорной камере $P_1=0,5$ МПа при $\beta = P_2/P_1= 0,67$ площадь эквивалентной щели (суммарная приведенная площадь утечек) f_2 равна площади отверстия дросселя f_1 . Целесообразность применения для диагностирования ЦПГ пневмотестера с диаметром дросселя 1 мм при давлении воздуха в камере опорного давления 0,5 МПа, в ДВС с таким техническим состоянием, когда условная суммарная площадь утечки f_2 превышает площадь дросселя f_1 не более чем в два раза. В противном случае следует применять дроссель большего диаметра или повышать давление P_1 . Исходя из этого предлагается комплектовать пневмотестеры дросселями с различными диаметрами отверстия : 0,6;0,8;1,0; 1,2 мм.

Уровень номинального, допустимого и предельного значений диагностического параметра для конкретного двигателя определяются диаметром дроссельного отверстия, диаметром цилиндра двигателя и перепадом давления на дросселе. Предложенная методика расчета позволяет аналитическим путем моделировать влияние различных дополнительных конструктивных и режимных параметров пневмотестера на точность и достоверность полученной диагностической информации.

Ключевые слова: двигатель внутреннего сгорания, диагностирования, диагностические приборы, параметры состояния, пневмотестер, дроссель.

Sorokin S.P., Kozachenko O.V., Kadenko V.S., Shkrega O.M., Bleznyuk O.V., Zozulya D. «Grounding of pneumatic sensor parameters for control of the technical state of the cylindro- piston motor group»

In the work the analysis of the existing market of diagnostic devices offered in Ukraine for the determination of the technical state of the cylinder-piston group of automotive tractor engines has been performed, the urgency of the improvement of existing and the creation of new methods and technical means by modeling the processes of measurement and selection and justification of their rational parameters has been identified. Imperfection of known models results in the search and implementation in diagnostic diagnostic machines of diagnostic tools that do not always meet the established requirements for the quality of control measurements of state parameters and are not certified.

The paper analyzes the technical means and methods for determining the technical condition of automotive internal combustion engines, proposed an improved design of the pneumatic tester (face tester) on the basis of a single measuring device. The calculations of the pneumatic characteristics of the tester for diagnosing the technical condition of the cylinder-piston group are made, the constructive-regime parameters of the device are calculated: the second flow rate and the air flow rate in the pneumatic scheme of the tester, the dependence of the reduced area of the leakage gap on the throttle area.

It is established that, to improve the accuracy of measurement of the diagnostic parameter and reduce the probability of diagnostic error, the design of the pneumatic tester should be performed according to the scheme with one measuring device. The common methods for diagnosing a cylinder-piston group of internal combustion engines are, today, predominantly the integral nature of the assessment of the technical condition and do not allow to identify the cause of a specific malfunction. Due to the imperfection of existing methodological approaches and technical means for measuring the value of diagnostic parameters, errors in diagnostic measurements are very often occurring, which causes the receipt of engine repairs from an incompletely exhausted resource. This condition necessitates the carrying out of scientific researches on improvement of methods and technical means of diagnosing a cylinder-piston engine group.

From the point of view of the thermodynamics of the processes occurring in the given pneumatic scheme of the tester, the thermodynamic theory of the flow of gases and vapors from the reservoir of unlimited capacity was used in the calculations, which is a kind of conditional capacity (reference pressure chamber), in which the initial parameters of the working fluid remain unchanged throughout the expiration process. Based on this, a

mathematical model was developed, which allowed us to state that the calculated pneumatic characteristics of the tester are nonlinear.

The second flow rate and air velocity through the throttle hole in the critical pressure drop zone is nonlinear, and in the critical zone the second flow rate and air velocity remain constant and do not depend on the pressure drop on the throttle.

When using the proposed design scheme of the pneumatic tester with a diameter of 1 mm throttle orifice and air pressure in the support chamber $P_1=0.5$ MPa at $\beta = P_2/P_1= 0.67$ the area of the equivalent gap (the total reduced leakage area) f_2 is equal to the area of the throttle opening f_1 . The feasibility of the diagnosis of the Chu pneumatischer with a diameter of 1mm choke when the pressure of the air in the chamber a reference pressure of 0.5 MPa, the internal combustion engine with such a technical state, when a conditional total area of the leakage f_2 exceeds the area of the throttle f_1 is not more than twice. Otherwise, use a larger diameter throttle or increase the pressure P_1 . Based on this, it is proposed to complete the pneumatic chokes with different hole diameters: 0,6; 0,8; 1,0; 1,2 mm.

The level of nominal, permissible and limit values of the diagnostic parameter for a particular engine are determined by the diameter of the throttle hole, the diameter of the engine cylinder and the pressure drop on the throttle. The proposed method of calculation allows analytically simulate the effect of various additional design and operating parameters of the pneumatic tester on the accuracy and reliability of the diagnostic information.

Keywords: internal combustion engine, diagnostics, diagnostic devices, status parameters, pneumatic tester, throttle

Актуальність проблеми

Ефективне використання мобільних засобів в агропромисловому виробництві України передбачає реалізацію технічної політики, що забезпечує підтримку працездатності машин та їх відновлення при експлуатації. При цьому, найбільші простої мобільної техніки в експлуатації викликані відмовами двигунів внутрішнього згоряння (ДВЗ) [1], у яких одним з ресурсовизначальних елементів є циліндро-поршнева група (ЦПГ), яка займає за часткою міжремонтних відмов в дизелях друге, а в бензинових ДВС третє місце [2-5]. Технічний стан ЦПГ є одним важливих факторів, що впливає на основні техніко-експлуатаційні показники ДВЗ: ефективну потужність, питому і годинну витрату палива, температуру відпрацьованих газів та рівень викидів шкідливих речовин.

Поширені, на сьогодні, методи діагностування ЦПГ носять переважно інтегральний характер оцінки технічного стану і не дозволяють виявляти причину конкретної несправності. Внаслідок недосконалості існуючих методик і технічних засобів вимірювання значення діагностичних параметрів (ДП) часто виникають похибки діагностичних вимірювань, що зумовлює надходження в ремонт двигунів з недовикористаним на 35 - 45% ресурсом [5]. Це зумовлює необхідність проведення наукових досліджень з удосконалення методів та технічних засобів діагностування двигунів, а особливо їх механіки до якої відноситься циліндро-поршнева група.

Аналіз публікацій за темою дослідження

Аналіз публікацій за темою дослідження дозволив виявити велику кількість розроблених останнім часом нових, різних за фізичною природою методів діагностування циліндро-поршневої групи двигунів внутрішнього згоряння та відповідних їм за способами вимірювання діагностичних параметрів технічних засобів [1-3]. Наявний ринок діагностичних приладів, що пропонується в Україні для визначення технічного стану ЦПГ автотракторних двигунів, вказує на актуальність їх удосконалення шляхом моделювання процесів вимірювання та вибору і обґрунтування їх раціональних параметрів [4,5]. Недосконалість відомих моделей зумовлює пошук та реалізацію в технологіях діагностування машин діагностичних засобів, що не завжди відповідають встановленим вимогам за якістю контрольних вимірювань параметрів стану і не є сертифікованими [6].

Сучасні конструктивні схеми пневмотестерів будуються, найчастіше, на двох вимірювальних манометрах [7], причому у схемі з двома манометрами прилади повинні мати однакові межі вимірювання та бути розрахованими на однаковий максимальний тиск. Між манометрами встановлюється дросель. Технічний стан ЦППГ визначається за перепадом тиску на дроселі. Враховуючи те, що кожен манометр має свою похибку вимірювання, точність вимірювання діагностичного параметру залежить від похибки обох манометрів.

Крім того, пневмотестери з двома манометрами мають у пневматичній схемі регулятор тиску, який дозволяє його приєднувати до практично любого джерела стисненого повітря, але можуть мати місце такі випадки, коли неправильне налагодження автоматики джерела стиснутого повітря не забезпечує стабільність тиску на вході у прилад, що також суттєво знижує точність вимірювання діагностичного параметру. Відомі тестери з одним манометром у пневматичній схемі регулятором тиску не обладнуються, а роль регулятора покладається на регулятор тиску компресора. Таке конструктивне виконання тестера обмежує можливість його використання, особливо, коли потрібно провести діагностування двигуна, демонтованого з автомобіля, за межами підприємства автосервісу. Наприклад: двигун знаходиться на місці зберігання, доступне джерело стиснутого повітря – автомобіль чи трактор з пневматичною гальмівною системою, або побутовий компресор малої продуктивності.

Що стосується параметрів дроселя, то інформація з відомих літературних джерел не дає однозначної відповіді щодо вибору діаметра дросельного отвору. Так у [7] зазначено, що у пневмотестері з двома манометрами дросель, що встановлений між ними, має діаметр 0,6 мм. Також зазначено, що параметри дроселя потрібно визначати окремо, але як це зробити не пояснюється. Це не дає повного уявлення про процес отримання достовірної діагностичної інформації при визначенні стану об'єкта діагностування.

Важливим зауваження щодо вибору параметрів дроселя, на наш погляд, є доречним те, що площа отвору у дроселі діагностичного приладу (один з основних конструктивних параметрів) не повинна бути меншою чи дорівнювати гранично допустимому значенню зазору при зношуванні ЦППГ двигуна. Виходячи з цього, універсальний комплект пневмотестера повинен комплектуватися набором дроселів з різними значеннями діаметрів дросельних отворів. Також слід зауважити, що при розгляді руху повітря у пневматичній схемі приладу слід користуватись поняттям «ефективний прохідний перетин», як для дроселя так і для зазору.

Не вирішена частина проблеми полягає у тому, що існуючі засоби діагностування не забезпечують отримання достовірної інформативності при визначенні дійсного технічного стану двигунів різної розмірності. Це зумовлює необхідність удосконалення методів та розробку нових засобів діагностування ЦППГ, що забезпечить підвищення точності постановки діагнозу при проведенні обслуговуючих діянь.

Мета дослідження

Метою дослідження є підвищення ефективності діагностування циліндро-поршневої групи бензинових двигунів при проведенні ремонтно-обслуговуючих впливів шляхом удосконалення методів і засобів визначення їх технічного стану.

Методичний підхід дослідження. Мета дослідження досягається за рахунок удосконалення конструкції пневмотестера (лік-тестера) та обґрунтування його конструктивно-режимних параметрів. Для чого вирішувалися наступні завдання:

- розробити удосконалену конструктивну схему пневмотестера;

- розрахувати пневматичні характеристики тестера: секундну витрату повітря G_c та швидкість витоку повітря через дросельний отвір w_d ;

- розрахувати залежність площі сумарних витоків з надпоршневого простору ДВЗ від площі дросельного отвору пневмотестера.

Основні витоки повітря з камери згоряння ДВЗ відбуваються:

а) у зазор між кільцями і поверхнею циліндра або у замку кілець;

б) у зазор по торцевим поверхням кілець і канавок поршней;

в) у зазор між сідлом і клапаном;

г) у зазор між пошкодженням прокладкою і площиною головки циліндрів, або блоку;

д) у тріщину у стінці камери згоряння.

Для вирішення першої задачі дослідження був проведений аналіз конструкцій приладів, що пропонуються на ринку діагностичних засобів в Україні. Результати аналізу дозволили вибрати пневматичну схему приладу, яка у найбільшій мірі відповідає задачам дослідження. Відповідно до вибраної пневматичної схеми, розроблена конструкція та виготовлений пневмотестер. Конструктивна особливість пропонованого вимірювального засобу полягає у наявності одного вимірювального приладу тиску та використання у схемі кулькового крану, який встановлюється перед адаптером (рис. 1).

Така конструкція дозволяє проводити вимірювання діагностичного параметру (падіння тиску повітря на дроселі) за допомогою одного манометра, що підвищує точність вимірювання. При застосуванні у якості джерела стисненого повітря мобільного компресора повинно бути забезпечено таке налагодження системи керування роботою компресора, при якому тиск повітря у системі завжди більший не менше ніж на 0,05МПа від тиску у камері опорного тиску (рис. 2).

Дросель, який встановлюється в пневматичній схемі пневмотестера, являє собою опір (тонка пластина з отвором), на якому відбувається падіння тиску при перетіканні повітря. Найбільше поширення у пневмотестерах набули дроселі, які виконані у вигляді отвору з гострими крайками в тонкій стінці. У запропонованій конструкції пневмотестера діаметр дроселя становить 1 мм, а відношення довжини отвору до діаметру дорівнює 1,5.

При теоретичних дослідженнях і аналізі отриманих результатів використовувалося поняття - «еквівалентна щілина». Еквівалентна щілина - це деяка площа умовної кільцевої щілини (зазор у спряженні гільза-поршень), витоки повітря через яку дорівнюють сумарним фактичним витокам з надпоршневого простору через усі вірогідні місця витоків при опресовуванні циліндра, що діагностуються стисненим повітрям.

Для вирішення другої та третьої задачі дослідження був проведений спрощений теоретичний аналіз термодинамічних процесів перетікання повітря через дросельний отвір пневмотестера (розрахункові пневматичні характеристики). Результати розрахунків дозволили у подальшому більш обґрунтовано проводити вибір геометричних параметрів дроселя і параметрів потоку повітря (перепаду тиску на дроселі) при виборі приладу для діагностування двигунів різної розмірності і різного технічного стану.

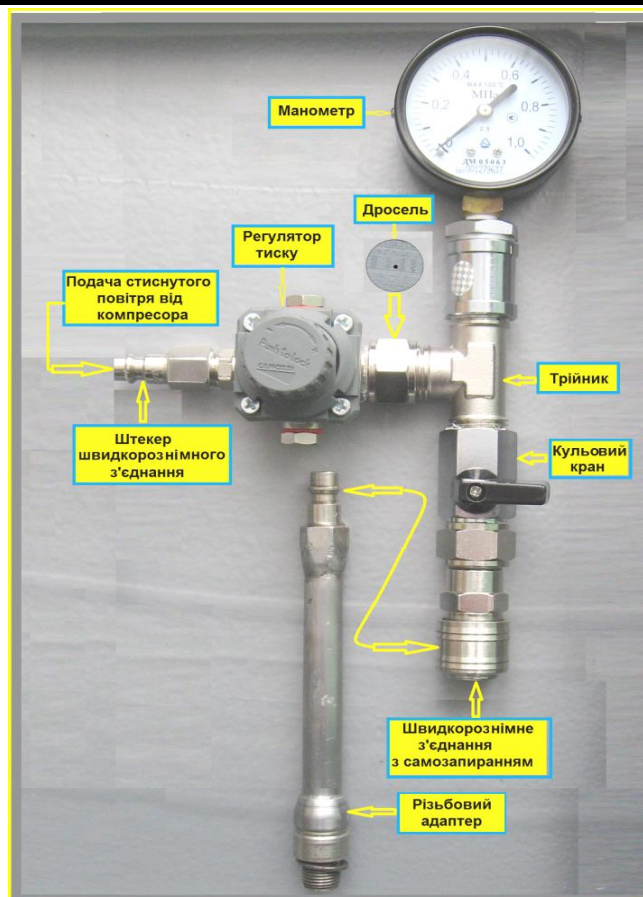


Рис.1. Загальний вигляд удосконаленого пневмотестера

Розрахункова схема пневмотестера наведена на рис. 2.

З точки зору термодинаміки процесів, що протікають у наведеній пневматичній схемі тестера, найбільш близькою по суті є термодинамічна теорія витoku газів і пари з резервуара необмеженої ємності [8,9]. Такий резервуар являє собою деяку умовну посудину (камеру опорного тиску), у якій впродовж всього процесу витікання початкові параметри робочого тіла (у нашому випадку повітря) залишаються незмінними ($P_1, v_1, T_1 = \text{const}$; абсолютний тиск, питомий об'єм і абсолютна температура є постійними).

Сталість параметрів повітря у камері опорного тиску досягається за рахунок безперервного відновлення витрати повітря відповідним налаштуванням регулятора тиску.

Процес витoku з камери опорного тиску характеризується значеннями абсолютних тисків (рис. 2): де P_1 - тиск повітря в камері опорного тиску, МПа; P_2 - тиск повітря за дроселем (тиск в камері згоряння двигуна), МПа; $P_{нс}$ - тиск навколишнього середовища, МПа (при діагностуванні двигун не працює, тому тиск у картері дорівнює тиску навколишнього середовища). Умова витікання повітря з камери згоряння через еквівалентну щілину $P_2 \geq P_{нс}$.

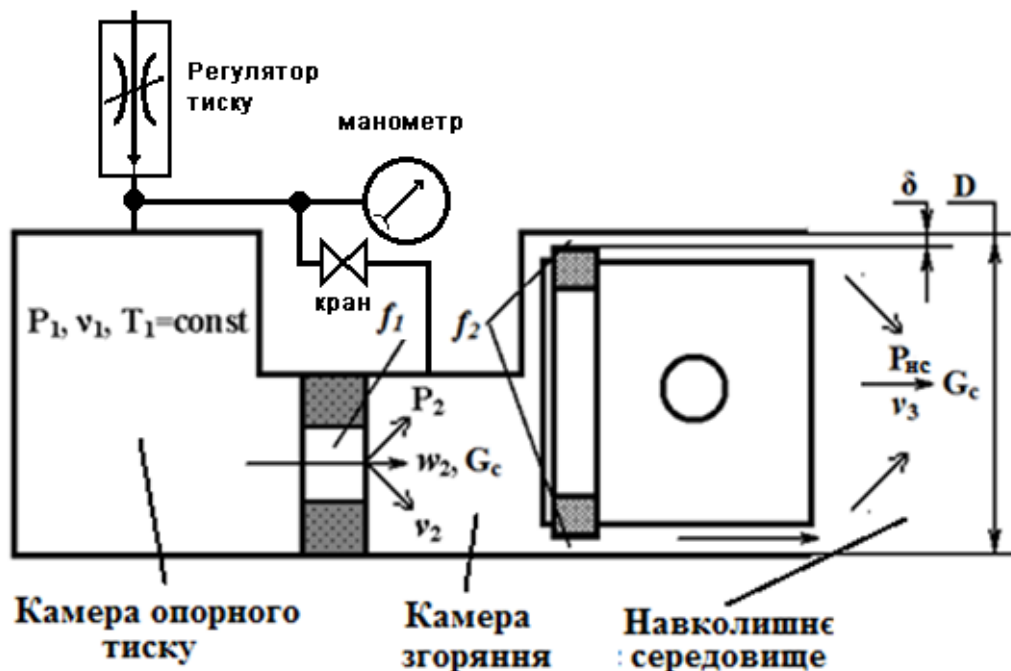


Рис.2. Розрахункова схема діагностування ЦПГ за допомогою пневмотестера

Процес перетікання повітря по пневматичній схемі відповідає загальному випадку, коли робоче тіло переміщується у просторі під дією нерівномірного поля тиску. Тому для опису термодинамічних процесів застосовуємо загальне рівняння першого закону термодинаміки [9]. Потік повітря розглядався як стаціонарний, у якого через будь-який переріз каналу в одиницю часу проходить однакова кількість повітря $G_c = \text{const}$, крім того, параметри повітря в будь-якій точці потоку з часом не змінюються.

Секундну витрату G_c визначалася за формулою:

$$G_c = f * w * \rho = f * w / v \quad (1)$$

де: f - площа поперечного перерізу потоку, м^2 ;

w - швидкість повітря у відповідному перерізі потоку, м/с ;

ρ - щільність повітря, кг/м^3 ;

v - питомий об'єм повітря, $\text{м}^3/\text{кг}$.

Для нашої розрахункової схеми рівняння нерозривності потоку має вигляд:

$$G_c = f_1 * w_1 * \rho_1 = f_2 * w_2 * \rho_2 \quad (2)$$

Або враховуючи, що: $\rho = 1/v$, маємо:

$$G_c = f_1 * \frac{w_1}{v_1} = f_2 * \frac{w_2}{v_2}.$$

Якщо прийняти потік повітря через отвір дроселя пневмотестера як одномірний, то швидкість потоку по перерізу дросельного отвору однакова і дорівнює середній швидкості. Тертя в потоці і теплообмін із зовнішнім середовищем не враховуємо (адиабатний процес).

У разі, коли робоче тіло в порожнинах пневмотестера є рідина, що стискається, її питомий об'єм v зазнає значних змін при зміні тиску P , тоді: $v = f(P)$; $v \neq \text{const}$.

Питомий об'єм повітря у порожнинах пневмотестера розраховуємо за формулою:

$$v_i = \frac{R * T}{P_i} \quad (3)$$

де: $i=1, 2$, нс: індекс 1 відноситься, відповідно, до параметрів повітря в камері опорного тиску; 2 - в камері згоряння; індекс нс - на виході із щілини (у картері двигуна).

В розрахунках прийнято такі параметри робочого тіла (повітря):

k - показник адіабати, $k = 1,4$.

T - температура робочого тіла, $T = 293\text{K}$;

R - газова стала повітря, $R = 287 \text{ Дж}/(\text{кг}\cdot\text{K})$.

Результати дослідження

Розрахунок пневматичних характеристик тестера передбачав наступну послідовність їх проведення.

1. Для розрахунку параметрів потоку повітря задаємо відношення тисків на вході і виході дросельного отвору пневмотестера:

$$\beta = \frac{P_2}{P_1} \quad (4)$$

де: P_2 - тиск повітря у камері згорання, який залежить від технічного стану ЦПГ; P_1 – опорний тиск повітря ($P_1 = \text{const}$).

Виходячи з того, що P_2 змінюється від $P_2 = P_1$ до $P_2 = 0$, параметр β приймає значення в інтервалі $\beta = 0 \dots 1$ (табл.1). При $\beta = 0,528$ (для двохатомних газів, яким є повітря) відношення тисків називається критичним $\beta = \beta_{\text{кр}}$.

2. При $\beta > \beta_{\text{кр}}$, теоретичну швидкість витікання повітря w_d розраховуємо за формулою (5):

$$w_1 = \sqrt{2 \cdot \frac{k}{k-1} \cdot R \cdot T_1 \left[1 - (\beta)^{\frac{k-1}{k}} \right]}, \text{ м/с} \quad (5)$$

а секундну витрату повітря - за формулою (6):

$$G_{c1} = f_1 \cdot \sqrt{2 \cdot \frac{k}{k-1} \cdot \frac{P_1}{v_1} \cdot \left[(\beta)^{\frac{2}{k}} - (\beta)^{\frac{k+1}{k}} \right]}, \text{ кг/с} \quad (6)$$

де: $f_1 = \frac{\pi}{4} \cdot d^2 = 0,785 \cdot 0,001^2 = 0,785 \cdot 10^{-6} \text{ м}^2$ (d - діаметр дроселя, $d = 1,0 \text{ мм}$);

3. При $\beta < \beta_{\text{кр}}$, теоретична швидкість повітря в отворі дроселя є максимальною і дорівнює критичній швидкості. Для її розрахунку на всьому інтервалі використовуємо формулу (7).

$$w_{1max} = \sqrt{2 \cdot \frac{k}{k+1} \cdot R \cdot T_1} \quad (7)$$

Секундна витрата повітря, у цьому випадку, є також максимальною і визначається за формулою (8).

$$G_{c1max} = f_1 \cdot \sqrt{2 \cdot \frac{k}{k+1} \cdot \left(\frac{2}{k+1} \right)^{\frac{2}{k-1}} \cdot \frac{P_1}{v_1}} \quad (8)$$

4. Спираючись на те, що секундна витрата повітря через дросель і через умовну еквівалентну щілину пов'язані співвідношенням (2) (витікає з рівняння нерозірваності потоку) секундну витрату повітря через щілину розраховуємо за формулою 9:

$$G_{c1} = G_{c2} = \mu f_2 \cdot \sqrt{2/v_2 \cdot \Delta P_2} \quad (9)$$

де: G_{c1} - секундна витрата повітря через дросель; $\text{м}^3/\text{с}$;

G_{c2} - секундна витрата повітря через умовну еквівалентну щілину, $\text{м}^3/\text{с}$;

μ - коефіцієнт гідравлічних втрат;

ΔP_2 – перепади тиску у щілині ($P_2 - P_{\text{ис}}$), МПа..

Враховуючи те, що витрата повітря через місцеві опори залежить не тільки від їх площі, а й від числа Рейнольдса, ступеня стискання потоку, виду отвору та інших факторів, то коефіцієнт гідравлічних втрат μ може приймати значення у межах $\mu =$

0,88 ... 1,0. Якщо прийняти для дросельного отвору і щілини $\mu = 1,0$, тоді

$$f_2 = \frac{G_{c1}}{\sqrt{2/v_2 * \Delta P_2}} \quad (10)$$

Результати розрахунків за наведеною методикою представлені у табл.1, а їх геометрична інтерпретація - на рис. 3, 4.

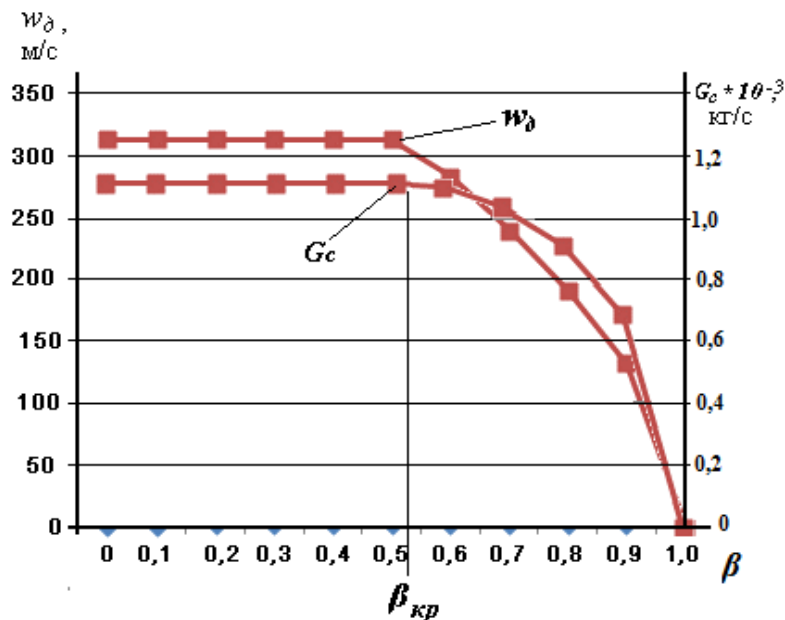


Рис.3. Пневматична характеристика тестера

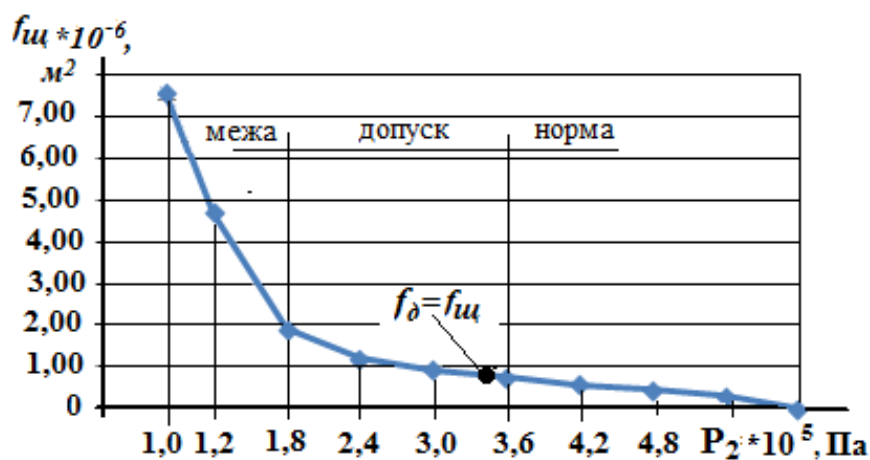


Рис.4. Залежність площі еквівалентної щілини від падіння тиску при діагностуванні

Результати розрахунку пневматичних характеристик пневмотестера

$\beta=$	0	0,1	0,2	0,3	0,4	0,5	$\beta_{\text{кр}} = 0,528$	0,6	0,7	0,8	0,9	1
$P_1=$	6,0*E+5	6,0*E+5	6,0*E+5	6,0*E+5	6,0*E+5	6,0*E+5	6,0*E+5	6,0*E+5	6,0*E+5	6,0*E+5	6,0*E+5	6,0*E+5
$P_2=$	1,0*E+5	1,0*E+5	1,2*E+5	1,8*E+5	2,4*E+5	3,0*E+5	316800	3,6*E+5	4,2*E+5	4,8*E+5	5,4*E+5	6,0*E+5
ΔP_1	5,0*E+5	5,0*E+5	4,8*E+5	4,2*E+5	3,6*E+5	3,0*E+5	283200	2,4*E+5	1,8*E+5	1,2*E+5	0,6*E+5	0
ΔP_2	0,1*E+5	0,1*E+5	0,2*E+5	0,8*E+5	1,4*E+5	2,0*E+5	2,17*E+5	2,6*E+5	3,2*E+5	3,8*E+5	4,4*E+5	5,0*E+5
$f_1=$	7,85E-07	7,85E-07	7,85E-07	7,85E-07	7,85E-07	7,85E-07	7,85E-07	7,85E-07	7,85E-07	7,85E-07	7,85E-07	7,85E-07
v_1	0,140	0,140	0,140	0,140	0,140	0,140	0,140	0,140	0,140	0,140	0,140	0,140
$v_2=$	1,00	0,84091	0,7007	0,46717	0,35037	0,2803	0,26544	0,23359	0,20022	0,17519	0,15572	0,14015
$w_1=$	313,22	313,22	313,22	313,22	313,22	313,22	313,22	282,73	238,81	190,68	132,12	0
Gc_1^*E-3	1,112	1,112	1,112	1,112	1,112	1,112	1,112	1,099	1,037	0,911	0,686	0
$f_2=$	-	-	8,59E-06	3,28E-06	1,99E-06	9,3E-07	8,78E-07	7,4E-07	5,8E-07	4,4E-07	2,9E-07	0

Висновки

Аналіз отриманих результатів дозволяє зробити наступні висновки.

1. Для підвищення точності вимірювання діагностичного параметра та зниження вірогідності діагностичної похибки конструкція пневмотестера повинна виконуватися по схемі з одним вимірювальним приладом.

2. Пневматичні характеристики тестера мають нелінійний характер. Вигляд характеристики залежать від діаметру отвору дроселя і величини тиску у камері опорного тиску P_1 .

3. При використанні запропонованої конструктивної схеми пневмотестера з діаметром отвору дроселя 1мм та опорному тиску $P_1=0,5\text{МПа}$ при $\beta = 0,67$ площа еквівалентної щілини f_2 дорівнює площі отвору дроселя f_1 .

4. Розроблений прилад можна використовувати для діагностування ЦПГ, у яких умовна сумарна площа витоків f_2 перевищує площу дроселя f_1 не більше ніж у два рази. У зворотному випадку слід застосовувати дросель більшого діаметра або підвищувати тиск P_1 .

5. Значення номінального, допустимого і граничного значення діагностичного параметра для конкретного двигуна визначаються діаметром дросельного отвору, діаметром циліндра двигуна і перепадом тиску на дроселі.

6. За умов визначення технічного стану ЦПГ ДВЗ, які розглядалися, граничний стан характеризується $P_2=1,8 \cdot 10^5 \text{ Па}$.

7. Запропонована методика розрахунку дозволяє аналітичним шляхом моделювати вплив різних додаткових конструктивних і режимних параметрів пневмотестера на точність і достовірність отриманої діагностичної інформації.

Список використаних джерел

1. Бойков А.Ю. Повышение информативности компрессионно-вакуумного метода диагностирования цилиндропоршневой группы автотракторных ДВС: автореф. дис. канд. техн. наук / Бойков А.Ю. - М., 2008. 19 с.

2. Подригало М.А. Влияние периодичности диагностирования на надёжность и эксплуатационные затраты силовых агрегатов машин / М.А. Подригало, сільськогосподарського виробництва. – 2003. – Вип. 21. С. 379-383.

3. Полянський А.С. Повышение долговечности новых и отремонтированных двигателей в период эксплуатации / А.С. Полянський, А.А. Молодан // Механіка та машинобудування: Науково-технічний журнал, №2. Харків, ХПІ –2011. С. 151-157.
4. Практикум з технічної діагностики: навч. посібник / О.В. Козаченко, С.П. Сорокін, О.М. Шкрегаль та ін.; За ред. О.В. Козаченка. Х.: Факт, 2013. – 456 с.
5. Харазов, А.М. Методы оптимизации в технической диагностике машин / А.М. Харазов, С.Ф. Цвид.- М.: Машиностроение, 1983. 132 с.
6. Самодельный пневмотестер. Часть 1,2. URL: <https://www.drive2.com> (дата звернення: 06.08.2018).
7. Пневмотестер, назначение, устройство, использование тестера герметичности (ПТ-1force). URL: <https://etlib.ru/> <https://etlib.ru/blog/660-pnevмотестер> (дата звернення: 08.01.2019).
8. Дементий Л.В. Сборник задач по технической термодинамике и теплопередаче / Л.В. Дементий, А.А. Кузнецов, Ю.В. Менафова. – Краматорск: ДГМА, 2002. 260 с.
9. Кошкин В.К. Термодинамическая теория истечения газов и паров, процесс дросселирования: Учебное пособие / В.К. Кошкин, Т.В. Михайлова. – М.: МАИ, 1983. 53 с.

References

1. Boykov A.Y. Povyishenie informativnosti kompressionno-vakuumnogo metoda diagnostirovaniya tsilindroporshnevoy gruppyi avtotraktornyih DVS: avtoref. dis. kand. tehn. nauk / Boykov A.Yu. - M., 2008. – 19 s.
2. Podrigalo M.A. Vliyanie periodichnosti diagnostirovaniya na nadyozhnost i ekspluatatsionnyie zatraty silovyih agregatov mashin / M.A. Podrigalo. silskogospodarskogo virobnitstva. – 2003. – Vip. 21. – S. 379-383.
3. Polyanskiy A.S. Povyishenie dolgovechnosti novyih i otremontirovannyih dvigateley v period ekspluatatsii / A.S. Polyanskiy, A.A. Molodan // Mehanika ta mashinobuduvannya: Naukovo-tehnichniy zhurnal, #2. Harkiv, HPI –2011. S. 151-157.
4. Praktikum z tehničnoyi diagnostiki: navch. posibnik / O.V. Kozachenko, S.P. Sorokin, O.M. Shkregal ta in.; Za red. O.V. Kozachenka. H.: Fakt, 2013. – 456 s.
5. Harazov, A.M. Metodyi optimizatsii v tehnicheskoy diagnostike mashin / A.M. Harazov, S.F. Tsvit.- M.: Mashinostroenie, 1983. – 132 s.
6. Samodelnyiy pnevmotester. Chast 1,2. URL: <https://www.drive2.com> (data zvernennya: 06.08.2018).
7. Pnevмотестер, naznachenie, ustroystvo, ispolzovanie testera germetichnosti (PT-1force). URL: <https://etlib.ru/> <https://etlib.ru/blog/660-pnevмотестер> (data zvernennya: 08.01.2019).
8. Dementiy L.V. Sbornik zadach po tehnicheskoy termodinamike i teploperedache / L.V. Dementiy, A.A. Kuznetsov, Yu.V. Menafova. – Kramatorsk: DGMA, 2002. – 260 s.
9. Koshkin V.K. Termodinamicheskaya teoriya istecheniya gazov i parov, protsess drosselirovaniya: Uchebnoe posobie / V.K. Koshkin, T.V. Mihaylova. – M.: MAI, 1983. – 53 s.