

УДК 629.1.07

Є.А. Васильєв, к. т. н., доцент

А.С. Прокопенко, магістрант

Полтавський національний технічний університет імені Юрія Кондратюка

МЕТОДИКА ДІАГНОСТУВАННЯ ПОРШНЕВИХ ДВИГУНІВ ВНУТРІШНЬОГО ЗГОРЯННЯ ЗА РЕЗУЛЬТАТАМИ ЇХ НЕПРЯМОГО ВІДОБРАЖЕННЯ

Для проведення моделювання внутришньоциліндрових процесів ДВЗ розроблена методика розрахунку індикаторних діаграм. Результати виконаних розрахункових досліджень говорять про придатність запропонованої методики розрахунку для моделювання внутришньоциліндрових процесів ДВС, в тому числі і сучасних.

Ключові слова: *ДВЗ, індикаторна діаграма.*

УДК 629.1.07

Е.А. Васильев, к. т. н., доцент

А.С. Прокопенко, магистрант

Полтавский национальный технический университет имени Юрия Кондратюка

МЕТОДИКА ДИАГНОСТИРОВАНИЯ ПОРШНЕВЫХ ДВИГАТЕЛЕЙ ВНУТРЕННЕГО СГОРАНИЯ ПО РЕЗУЛЬТАТАМ ИХ КОСВЕННОГО ИНДИЦИРОВАНИЯ

Для проведения моделирования внутрицилиндровых процессов ДВС разработана методика расчета индикаторных диаграмм. Результаты выполненных расчетных исследований говорят о пригодности предлагаемой методики расчета для моделирования внутрицилиндровых процессов ДВС, в том числе и современных.

Ключевые слова: *ДВЗ, индикаторная диаграмма.*

METHODS OF PISTON DIESEL ENGINES DIAGNOSIS ON THE RESULTS OF THEIR INDIRECT INDEXING

For the simulation process intracylinder ICE developed a method for calculating the indicator diagrams. The results of the computational research say about the suitability of the proposed calculation method for modeling processes intracylinder ICE, including today.

The key words: ICE, indicator diagram.

Постановка проблеми. Основним агрегатом автомобіля, на частку якого припадає найбільше число відмов, є двигун внутрішнього згоряння (ДВЗ). Надійність роботи двигунів залежить не тільки від їх конструкції, технології виготовлення, умов експлуатації автомобілів, але у великій мірі від організації та якості їх обслуговування. Досконалість будь-якого методу обслуговування і ремонту визначається тим, наскільки повно він забезпечує взаємодію між об'єктивно існуючим процесом зміни технічного стану об'єкта і процесом його технічної експлуатації. Традиційний планово-попереджувальний метод обслуговування і ремонту, заснований на виконанні профілактичних робіт певних обсягів через заздалегідь заплановані інтервали часу або напрацювання незалежно від стану систем і деталей, забезпечує слабку взаємодію між зазначеними процесами. Більш тісний зв'язок між ними забезпечують методи обслуговування і ремонту за станом. Основним принципом методів обслуговування і ремонту за станом є принцип попередження відмов систем автомобіля та їх окремих найбільш важливих вузлів і деталей при забезпеченні максимально можливого їх напрацювання до заміни. Методи обслуговування та ремонту за станом передбачають безперервний або періодичний контроль та

вимірювання параметрів, що визначають технічний стан функціональних систем і вузлів, тобто здійснення безперервного або періодичного діагностування даних об'єктів.

Розвиток конструкції ДВЗ, а також засобів вимірювання та обробки одержуваної інформації вимагають безперервного вдосконалення наявних методів діагностування та розробки нових, більш досконалих методів, заснованих на використанні новітніх засобів отримання інформації про технічний стан двигунів.

Аналіз останніх досліджень і виділення не розв'язаних раніше частин загальної проблеми. Проведений аналіз різних методів діагностування ДВЗ і практичний досвід їх застосування дозволяють зробити висновок, що існуючі методи володіють великою кількістю недоліків, і для постановки правильного діагнозу стану ДВЗ необхідно використовувати комбінацію методів діагностування. Дана обставина вимагає вдосконалення наявних методів (для сучасних ДВЗ необхідна як мінімум модернізація наявних методів) і розробку нових, більш досконалих та інформативних методів отримання інформації про технічний стан ДВС, що реалізують можливість моніторингу діагностичних параметрів.

Тиск газів в циліндрах двигуна є найбільш інформативним діагностичним параметром. Обробка індикаторних діаграм дозволяє отримувати відомості про хід робочих процесів двигунів, що діагностуються, визначати їх індикаторні показники, оцінювати технічний стан ДВЗ, якість їх регулювання, економічність та екологічну чистоту.

Виконаний аналіз відомих способів відображення дозволив зробити висновок, що методи прямого відображення мають високу вартість і не забезпечують необхідну точність одержуваних даних, крім того, їх застосування для автомобільних двигунів практично неможливо через відсутність у них індикаторних кранів. Відомі методи непрямого вимірювання тиску в циліндрах ДВС також мають ряд недоліків, в результаті чого вони не набули масового застосування, і в більшості своїй використовуються у вигляді

окремих експериментальних пророблень, що мають обмежену точність і досить вузьку сферу використання. Небагато методи як прямого, так і непрямого відображення дозволяють здійснювати постійний моніторинг тиску в циліндрах ДВС, що необхідно для отримання оперативної інформації про зміни в його стані, своєчасного реагування на виникаючі несправності шляхом проведення відповідних операцій технічного обслуговування, що є найважливішою умовою організації технічного обслуговування по станом.

Формулювання цілей статті. Зазначені вище обставини роблять необхідним розробку нових методів і засобів відображення двигунів, приділяючи при цьому основну увагу розробці способів і засобів непрямого відображення.

Виклад основного матеріалу. Пропонований метод непрямого відображення поршневих двигунів внутрішнього згорання заснований на вимірюванні напруг, що діють в елементах з'єднання корпусних деталей (шпильках, болтах), що пов'язують кришки циліндра (головки блоку циліндрів) і блок двигуна. Вибір елементів зв'язку в якості об'єкта вимірювання заснований на тому, що вони сприймають тільки сили тиску газів і, таким чином, дозволяють побічно відображати характеристику двигуна. Розрахункова схема елементів з'єднання корпусних деталей представлена на рис. 1. При неробочому стані ДВЗ силові шпильки навантажені силою попереднього зтягування (мінімальна сила розтягує шпильку)

$$P_{\text{ПП}} \approx m \cdot (1 - \chi) \cdot P'_{Z_{\text{max}}}, \text{ МН}, \quad (1)$$

де m – коефіцієнт зтяжки шпильки; χ – коефіцієнт основного навантаження різьбового з'єднання; $P'_{Z_{\text{max}}}$ – сила тиску газів при згорянні, яка припадає на одну шпильку, МН.

Під дією сили попереднього зтягування відбувається розтягування шпильки і стиснення деталей, що з'єднуються. Шпилька при цьому подовжується на величину $\lambda_{\text{шп}}_{\text{min}}$

$$\lambda_{\text{шп}}_{\min} = \frac{l_{\text{шп}} \cdot P_{\text{пр}}}{E \cdot F_0}, \text{ м}, \quad (2)$$

де $l_{\text{шп}}$ – розрахункова довжина шпильки, м; E – модуль пружності матеріалу шпильки, МПа; F_0 – площа поперечного перерізу стержня шпильки, м².

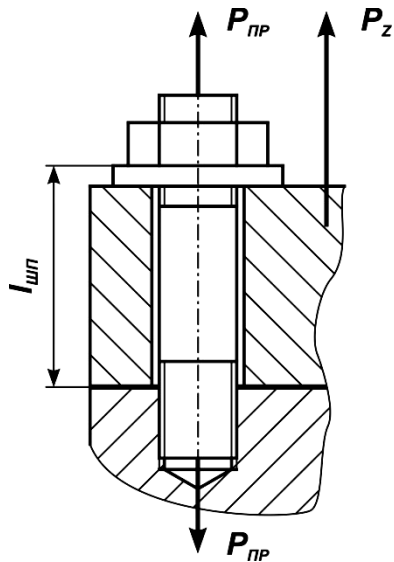


Рисунок 1 – Розрахункова схема елементів з'єднання корпусних деталей.

$P_{\text{пр}}$ – сила попереднього затягування силових шпильок; P_z – сила, що розтягує шпильку від тиску газів; $l_{\text{шп}}$ – розрахункова довжина шпильки

При роботі двигуна сила тиску газів при згорянні викликає додаткове розтягнення шпильки і стиснення головки, на шпильку буде діяти сила P_z

$$P_z = P_{\text{пр}} + \chi \cdot P'_{z_{\max}}, \text{ МН}. \quad (3)$$

Під дією сили P_z шпилька подовжується на величину $\lambda_{\text{шп}}_{\max}$

$$\lambda_{\text{шп}}_{\max} = \frac{l_{\text{шп}} \cdot P_z}{E \cdot F_0}, \text{ м}. \quad (4)$$

Реалізація методу непрямого відображення полягає в тому, що під гайку або болт кріплення головки блоку циліндрів поміщають датчик тиску, який представляє собою сталеву шайбу із закріпленими на ній тензорезисторами. Зусилля, що виникають від дії сил тиску газів в циліндрі двигуна, передаються через головку блоку циліндрів шпилькам або болтів кріплення головки блоку циліндрів до самого блоку. При цьому датчик тиску сприймає ті ж самі зусилля, перетворюючи їх в електричний сигнал.

Таке рішення істотно спрощує пристрій датчика і робить його конструкцію універсальною. Приклад виконання датчика тиску представлений на рис. 2.

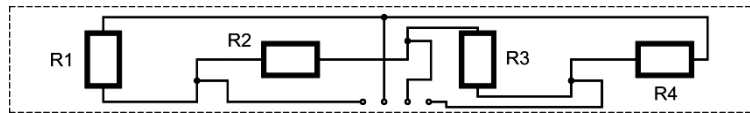


Рисунок 2 – Розроблений датчик тиску для реалізації методу непрямого відображення

На сталевий шайбі встановлено чотири тензорезистора, які утворюють повну вимірювальну схему. Тензорезистори R1 і R3 встановлені для сприйняття осьових деформацій; тензорезистори R2 і R4 використовуються для термокомпенсації.

Під дією зміни тиску в циліндрі двигуна сталеві шайби стискаються і розтягуються, перебуваючи в зоні пружної деформації, при цьому тензорезистори разом з нею також деформуються, змінюючи свій опір. Сигнал з тензорезисторів пропорційно тиску в циліндрі ДВЗ за допомогою вимірювальної схеми перетворюється в напругу, значення якої через підсилювач і АЦП реєструється комп'ютером, де і здійснюється його подальша обробка та аналіз. При проведенні досліджень в якості об'єктів були обрані наступні двигуни: двигун ЗЧ17,5/24; двигун 6ЧН12/14; двигун 4Ч8,2/7,1 (ВАЗ-2111).

Для обґрунтування працездатності запропонованого способу отримання інформації про внутрішньоциліндрових процесах був зроблений розрахунок подовження шпильок кріплення кришок циліндрів (двигуни ЗЧ17,5 / 24 і 6ЧН12 / 14), болтів головки блоку (двигун ВАЗ-2111) і стиснення шайб під ними при впливі сил від попередньої затяжки і від тиску газів в циліндрі ДВС. Результати розрахунків показують, що розтягнення шпильок (болтів) кріплення кришки циліндра (головки блоку), а також стиснення шайб під ними при роботі двигуна знаходяться в діапазоні, доступному для реєстрації тензорезисторами. Зокрема, для обраних об'єктів дослідження різниця між подовженням шпильки (болта) при максимальній силі розтягнення і подовженням при силі попереднього затягування складає від 1 до 20 мкм; різниця між стисненням шайби при максимальній силі стиснення і стисненням при силі попереднього затягування

становить від 0,02 до 0,80 мкм. Природно, що найбільш якісна непряма індикаторна діаграма виходить при установці тензорезисторів на тіло шпильки кріплення кришки циліндра (або болта головки блоку циліндрів). Однак у цьому випадку виникають наступні проблеми: по-перше, технологічно складно встановити тензорезистор та організувати передачу сигналу від нього, по-друге, тензорезистор встановлюється на незатягнуту шпильку (болт) кріплення кришки циліндра (головки блоку циліндрів), і в цьому випадку шпилька, спільно з наклеєним тензорезистором, буде навантажена силою попереднього затягування $P_{ДР}$. Дана сила розтягне шпильку і тензорезистор на величину, яка може вийти за допустиму межу по деформації тензорезистора. Крім того, при прогріванні двигуна, внаслідок теплової деформації деталей, навантаження на шпильку збільшиться. Таким чином, основні дослідження були пов'язані з вимірюванням напружень в шайбах під гайками шпильок кріплення кришок циліндрів до блоку двигуна (двигуни ЗЧ17,5 / 24 і 6ЧН12 / 14) і в шайбах під болтами головки блоку циліндрів (двигун ВАЗ-2111).

Загальна вимірювальна схема методу непрямого відображення представлена на рис. 3. Тензорезистори 2, встановлені на шайбі 3 стислій гайкою 1 шпильки 5 кріплення кришки циліндра 4 до блоку двигуна 6, з'єднані в вимірювальну схему. Сигнал з вимірювальної схеми посилюється в підсилювачі 14 з коефіцієнтом посилення 100 або 1000, і, через аналого-цифровий перетворювач 15, передається в комп'ютер 16, де здійснюється його обробка.

В ході випробувань на двигунах ЗЧ17,5 / 24 і 6ЧН12 / 14 одночасно з реєстрацією непрямої індикаторної діаграми здійснювалося пряме відображення з використанням датчика GT-20 фірми «Autronica» і діагностичного комплексу К-748. Сигнал з датчика прямого відображення 9 (див. рис. 3) реєструвався паралельно з сигналом від тензорезисторів 2. У даному випадку індикаторні діаграми, зняті за допомогою датчика GT-20 розглядалися як еталонні, а діаграми, зняті методом непрямого відображення, зіставлялися з ними і оцінювалися їх точність. Двигун ВАЗ-2111 виключає

пряме відображення, що в свою чергу ускладнює отримання абсолютних величин тиску в циліндрі, тому зареєстрований з тензорезисторів 2 сигнал, пропорційний тиску в циліндрі, розглядався як відносний.

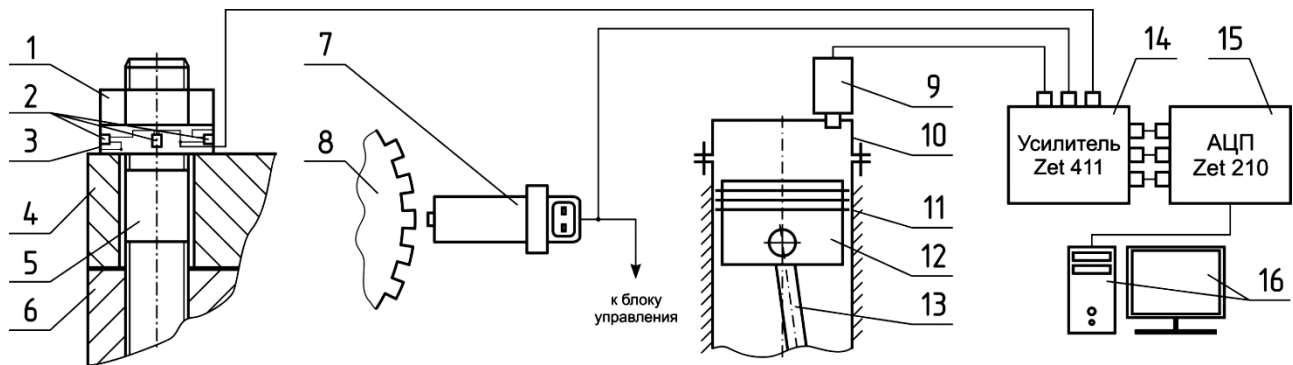


Рисунок 3 – Загальна вимірвальна схема методу непрямого відображення

1 – гайка шпильки кріплення кришки циліндрів до блоку двигуна; 2 – тензорезистори; 3 – шайба під гайкою шпильки кріплення кришки циліндра до блоку двигуна; 4, 10 – кришка циліндра; 5 – шпилька кріплення кришки циліндрів до блоку двигуна; 6, 11 – блок двигуна; 7 – датчик положення колінчастого валу; 8 – зубчастий вінець шківів колінчастого валу; 9 – датчик прямого відображення; 12 – поршень; 13 – шатун; 14 – підсилювач сигналу; 15 – аналого–цифровий перетворювач; 16 – комп'ютер.

Вимірювання на двигуні ЗЧ17,5 / 24 проводилися на чотирьох режимах: на режимі холостого ходу, при навантаженні 14, 26 і 36 кВт. Вимірювання на двигуні 6ЧН12 / 14 проводилися на трьох режимах: на режимі холостого ходу, при навантаженні 42 і 70 кВт. Вимірювання на двигуні ВАЗ–2111 проводилися на режимі холостого ходу.

Важливим моментом при вимірюванні тиску в циліндрах ДВС є визначення положення ВМТ на діаграмі між тактами стиснення і розширення. Для двигунів ЗЧ17,5 / 24 і 6ЧН12 / 14 для визначення ВМТ на кожному режимі перевірки вироблялося відключення паливоподачі в діагностуємих циліндр і реєструвалося тиск стиснення–розширення, без процесу згоряння. За отриманою діаграмою визначалася верхня мертва точка; потім дана діаграма

накладалася на діаграму тиску з процесом згоряння (з максимальним збігом політропи стиснення) і визначався момент ВМТ. Для двигуна ВАЗ–2111, паралельно з непрямым відображенням, для визначення верхньої мертвої точки між тактами стиснення і розширення, реєструвався сигнал зі штатного індуктивного датчика положення колінчастого валу 7 (див. рис 3).

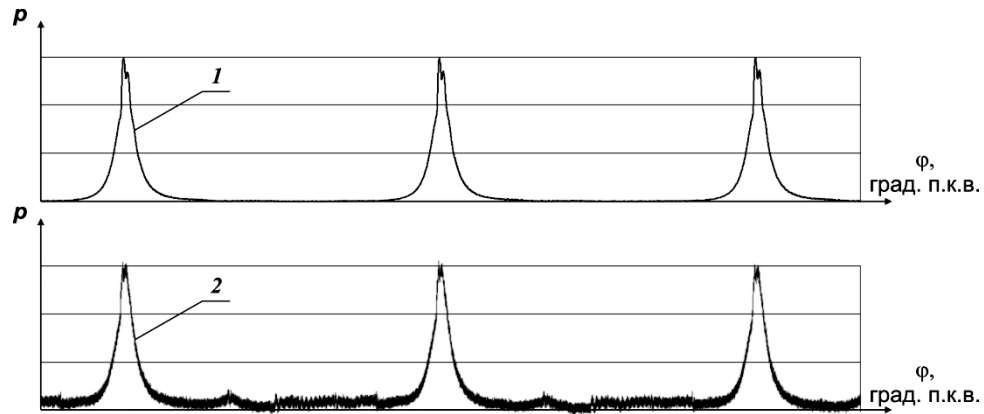


Рисунок 4 – Індикаторні діаграми двигуна ЗЧ17,5/24

1 – пряме відображення; 2 – непряме відображення; три послідовних циклу; холостий хід; $n = 630$ об/хв; частота дискретизації 20 кГц; сигнал без обробки

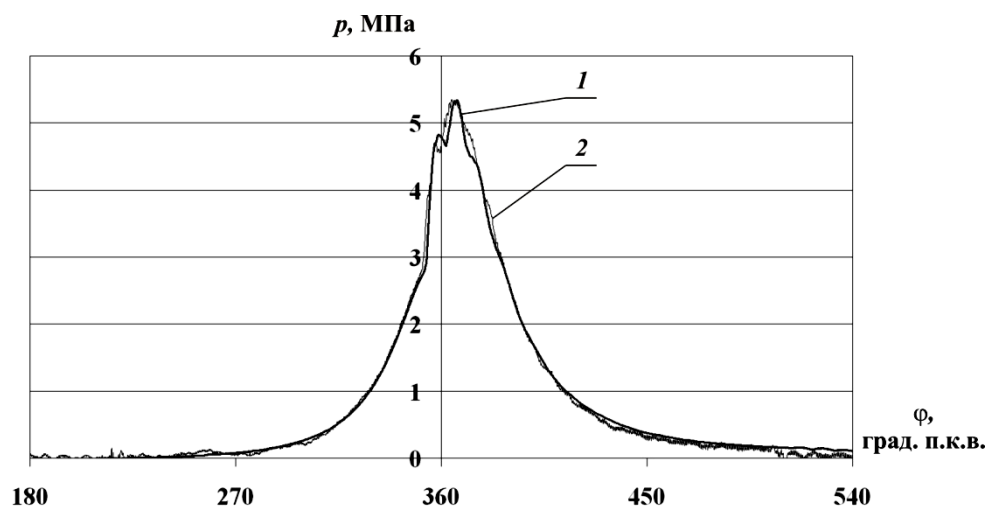


Рисунок 5 – Індикаторные диаграммы двигателя ЗЧ17,5/24

1 – пряме відображення; 2 – непряме відображення; навантаження 36 кВт; $n = 582$ об/хв; середня за 24 циклу

Результати досліджень, отримані методом непрямого відображення, розглянемо на прикладі двигуна ЗЧ17,5 / 24. На рис. 4 представлені індикаторні діаграми двигуна ЗЧ17,5 / 24, отримані методами прямого 1 і непрямого 2 відображення на режимі холостого ходу ($n = 630$ об / хв); на рис. 5 представлені

середні за 24 циклу індикаторні діаграми двигуна $3\text{Ч}17,5 / 24$, отримані методами прямого 1 і непрямого 2 відображення, на режимі роботи з навантаженням 36 кВт ($n = 582$ об/хв).

Висновки. Тиск газів в циліндрах двигуна є найбільш інформативним діагностичним параметром, що характеризує стан його поршневої частини. Обробка індикаторних діаграм дозволяє отримати відомості про якість робочих процесів досліджуваного двигуна, визначити значення його індикаторних показників, оцінити якість регулювання, економічність і екологічну чистоту. Виконаний аналіз відомих способів відображення та їх вартості дозволив зробити висновок, що методи прямого і непрямого відображення мають ряд серйозних недоліків, що не дозволяють використовувати їх в практиці. І, таким чином, є необхідність у розробці нових методів і засобів відображення двигунів.

Література

1. Малышев, В. С. Диагностирование двигателей транспортных средств с использованием методов косвенного индицирования / В. С. Малышев, А. А. Бабошин, А. Ю. Корегин // Автотранспортное предприятие. – 2009. – №2. – С. 48-50.
2. Бабошин, А. А. Анализ методов измерения давления в цилиндрах ДВС и обоснование необходимости разработки методов косвенного индицирования / А. А. Бабошин, В. С. Малышев // Автотранспортное предприятие. – 2009. – №9. – С. 42-44.
3. Бабошин, А. А. Результаты исследования метода косвенного индицирования поршневых двигателей внутреннего сгорания / А. А. Бабошин // Автотранспортное предприятие. – 2012. – №8. – С. 42-46.