

МОДЕЛЮВАННЯ НЕРІВНОМІРНОСТІ ОБЕРТАННЯ КОЛІНЧАТОГО ВАЛА ДИЗЕЛЯ

Розглянуто питання діагностування дизелів та природа виникнення нерівномірності обертання колінчастого вала. Наведено результати моделювання нерівномірності частоти обертання колінчастого вала дизеля типу 1Д12. На підставі моделювання отримано залежності, відповідні прояву дефектів в роботі вузлів дизеля.

В статье рассмотрены вопросы диагностирования дизелей, рассмотрена природа возникновения неравномерности вращения коленчатого вала. Приведены результаты моделирования неравномерности частоты вращения коленчатого вала дизеля типа 1Д12. На основании моделирования получены зависимости, соответствующие проявлению дефектов в работе узлов дизеля.

In the article the issues of diagnostics of diesels are considered; the nature of origin of irregularity of crankshaft rotation is considered. The results of simulation of irregularity of crankshaft rotation frequency for diesel of type 1D12 are presented. On the basis of simulation the dependences corresponding to the manifest of defects in operation of diesel units are obtained.

Одним з перспективних напрямків розвитку локомотивного господарства є поступовий перехід від планово-попереджувальної системи ремонту рухомого складу до технічного обслуговування по фактичному технічному стану. Система утримання по фактичному передбачає виконання ремонтів по мірі фактичної необхідності, а не через жорстко призначені терміни, які нерідко виявляються невдало вибраними, і це призводить або до непотрібного передчасного розбирання механізмів, або до масштабних ремонтних робіт, які можна було б попередити ліквідацією несправності ще до появи аварійно небезпечного пошкодження. Крім того, кожне розбирання та складання вузлів викликає штучний процес припрацювання, під час якого підвищується інтенсивність зносу деталей.

Перехід до експлуатації рухомого складу за фактичним станом можливий лише за наявності ефективних автоматизованих систем технічного діагностування, призначених для оцінки стану технічних об'єкта, пошуку несправностей і визначення їх причин, прогнозування залишкового ресурсу механізмів і визначення термінів профілактичного ремонту.

На тепловозі дизель є одним із найскладніших і найвідповідальніших вузлів, від надійності роботи якого залежить надійність роботи тепловоза в цілому, крім того, стан дизеля впливає на економічність тепловоза. Визначення технічного стану вузлів дизеля без його розбирання дозволить значно скоротити витрати на його ремонт.

На основі аналізу існуючих методів нерозбірного діагностування дизеля можемо зробити висновки, що розглянуті методи та побудовані на їх основі комплекси діагностування ДВЗ мають недоліки, основними з яких є:

- великі трудовитрати, пов'язані з частковим розбиранням двигуна і монтажем діагностичного устаткування;
- технічні засоби, за допомогою яких виконується діагностування, не уніфіковані для використання на різних типах двигунів.

Аналіз методів та способів діагностування ДВЗ дозволив дійти висновку, що серед існуючих методів метод діагностування за нерівномірністю частоти обертання колінчастого вала дизеля являє собою перспективний напрям у розвитку методів нерозбірного діагностування ДВЗ, використання якого дозволить збільшити достовірність результатів діагностування і прогнозувати подальшу експлуатацію дизеля. При цьому методі діагностування в якості діагностичного параметра використовується частота обертання колінчастого вала. Цей параметр комплексно характеризує якість роботи двигуна.

Нерівномірність обертання вала двигуна пояснюється, перш за все, імпульсною складовою обертаючого моменту в кожному з його циліндрів. Крім того, якщо вважати, що момент опору обертанню вала при сталому режимі є постійним, і порівняти значення цього моменту з обертаючим моментом двигуна, що безперервно змінюється, то ясно, що при спалахах в циліндрах обертаючий момент буде більше моме-

нту опору, а в періоди між спалахами – менше. Прийнято говорити, що в першому випадку має місце надлишок обертаючого моменту, а в другому – нестача.

Для оцінки нерівномірності обертання вала протягом одного періоду зміни сумарного обертаючого моменту від всіх циліндрів двигуна введено поняття ступеня нерівномірності обертання, що є відношенням різниці максимальної і мінімальної кутових швидкостей обертання вала до середньої кутової швидкості. Чим менше ступінь нерівномірності вала, тим більш рівномірно він обертається. Зменшення нерівномірності обертання або доведення її до необхідних меж досягають зазвичай установкою маховика на колінчастому валу. Маховик виконує роль акумулятора механічної енергії мас, що обертаються: він накопичує її в періоди надлишку обертаючого моменту, а в моменти нестачі – віддає.

Крім того, на рівномірність обертання вала впливає число циліндрів в двигуні. У багатоциліндровому ДВЗ колінчастий вал сприймає обертаючі моменти по черзі від всіх циліндрів. Дія цих моментів не співпадає за часом, оскільки кривошипи розташовані не в одній площині, а під певним кутом один до одного. Тому збільшення числа циліндрів пов'язане з частішою зміною обертаючого моменту в двигуні, а, отже, з більш рівномірним обертанням колінчастого вала.

При діагностуванні двигунів внутрішнього згорання зазвичай прийнято вважати, що кутова швидкість обертання колінчастого вала при сталому режимі постійна, отже кут його повороту пропорційний часу. Обертовий момент дизеля врівноважується моментом опору і моментом дотичних сил інерції рухомих мас, приведенних до колінчастого вала.

Для будь якого моменту часу:

$$M_{об} = M_{оп} + I_o \frac{d\omega}{dt}, \quad (1)$$

де $M_{оп}$ – момент, що враховує опір навантаження, сил тертя і витрати енергії на привод допоміжних механізмів;

I_o – момент інерції рухомих мас, приведенний до колінчастого вала;

$\frac{d\omega}{dt}$ – кутове прискорення вала.

При сталому режимі роботи діють середні значення моментів, але оскільки період і характер фактичних змін цих моментів не збігають-

ся, то неминуче виникають коливання кутової швидкості вала, тобто:

$$M_{об} - M_{оп} = I_o \frac{d\omega}{dt}. \quad (2)$$

Значна частина нерівномірності обертання вала компенсується моментами інерції механізму урівноваження і сполучених з його валом агрегатів. Тому за допомогою звичайних тахометрів визначити нерівномірність обертання вала дизеля не є можливим.

У більшості систем діагностування за нерівномірністю частоти обертання вала ДВЗ використовуються індукційний або оптичний датчики, які подають сигнали відповідно проходженню зубів вінцевої шестерні біля (через) них. Такий спосіб виміру має недоліки, головний з яких: невелика та нестабільна точність із-за зношення та змащування зубів шестерні. Крім того, індукційний датчик має неідеальні магнітні властивості й тому не в змозі чітко фіксувати наближення зуба шестерні при великій його швидкості. А оптичний датчик у силу того, що вінцева шестерня знаходиться не в герметичному відсіку, має ризик забруднитися змащенням чи пилом або спрацювати на бризки змащення.

Датчик кутової швидкості повинен відповідати ряду вимог:

- спроможність заміряти частоту обертання в межах одного оберту з достатньою точністю;
- малогабаритність;
- зручність монтажу та демонтажу;
- робоча частота обертання не менше номінальної частоти обертання дизеля (не менш ніж 1500 хв^{-1});
- незалежність надійності та точності виміру від умов зовнішнього середовища.

На основі наведених вимог пропонується використання інкрементального оптичного датчика кутового переміщення (енкодер).

В якості об'єкту експериментальних досліджень було обрано дизель 1Д12-400.

Дизель 1Д12 є чотиритактним швидкохідним безкомпресорним без наддування з рідинним охолодженням та струменевим розпилюванням палива. Розташування циліндрів – V-подібне у двох блоках під кутом 60° . Аналітично було розраховано індикаторну діаграму робочого процесу для номінального режиму (рис. 1) експериментального дизеля. Також розраховано індикаторні діаграми робочих процесів при зниженому на 1 МПа тиску P_Z відносно номінального режиму та при вимкненій подачі палива (рис. 2).

Для моделювання впливу несправностей робочого процесу на частоту обертання колінчастого вала створено спрощену твердотілу модель дизеля 1Д12 в масштабі 1:1. Вона складається з 62 елементів, серед яких: картер, колінчастий вал, по 12 поршнів і поршневих пальців, по 6 основних та причіпних шатунів та їх паль-

ців. На рис. 3 зображено інтерфейс програми Autodesk Inventor для створення зборки моделі з твердотілих елементів. Вікно програми складається зі стандартної панелі інструментів, анімаційного вікна, браузера елементів та панелі інструментів для створення моделі.

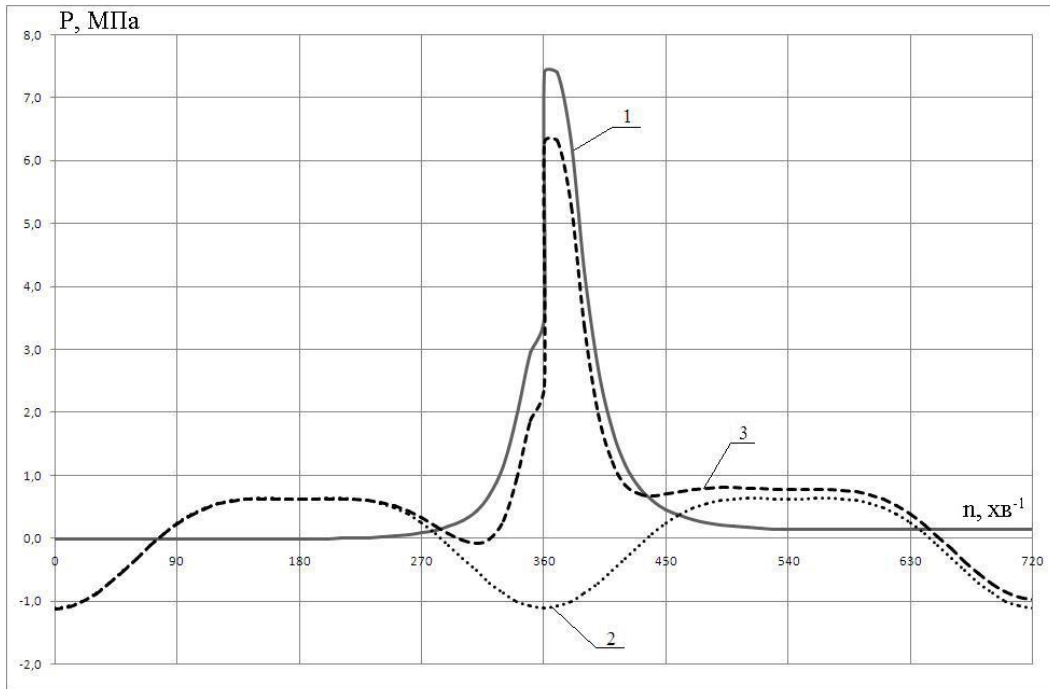


Рис. 1. Графіки залежності питомих зусиль від кута φ для одного циліндра при частоті обертання $n = 1500$ об/хв:

1 – P_{Γ} , сила тиску газів; 2 – P_1 , сила інерції; 3 – P_{Σ} , сумарна сила, що діє на поршень

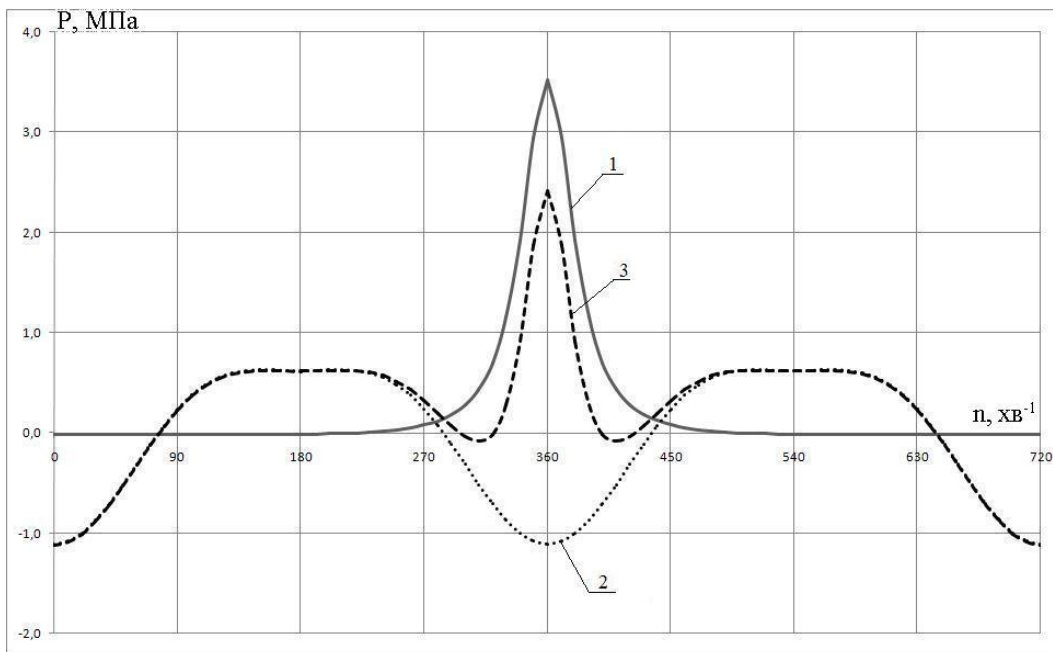


Рис. 2. Графіки залежності питомих зусиль від кута φ для одного циліндра при нульовій подачі палива при частоті обертання $n = 1500$ об/хв:

1 – P_{Γ} , сила тиску газів; 2 – P_1 , сила інерції; 3 – P_{Σ} , сумарна сила, що діє на поршень

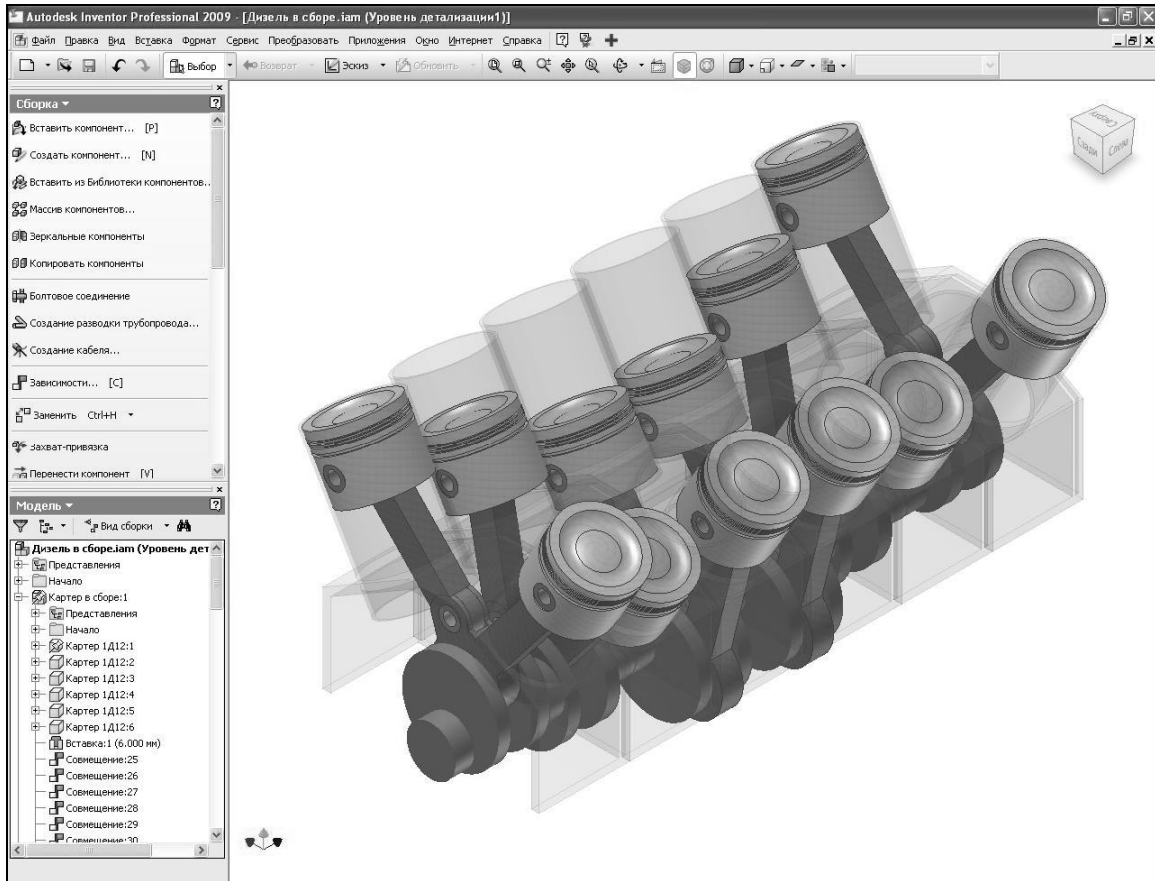


Рис. 3. Вид вікна створення зборки у програмі Autodesk Inventor

Експерименти з імітаційною моделлю були проведені в чотири етапи, і на кожному етапі проводилось по два експерименти: при номінальній частоті обертання колінчастого вала –

1500 хв^{-1} , та на режимі холостого ходу – 500 хв^{-1} . Вихідними даними експериментів є графічні залежності частоти обертання від часу (рис. 4).

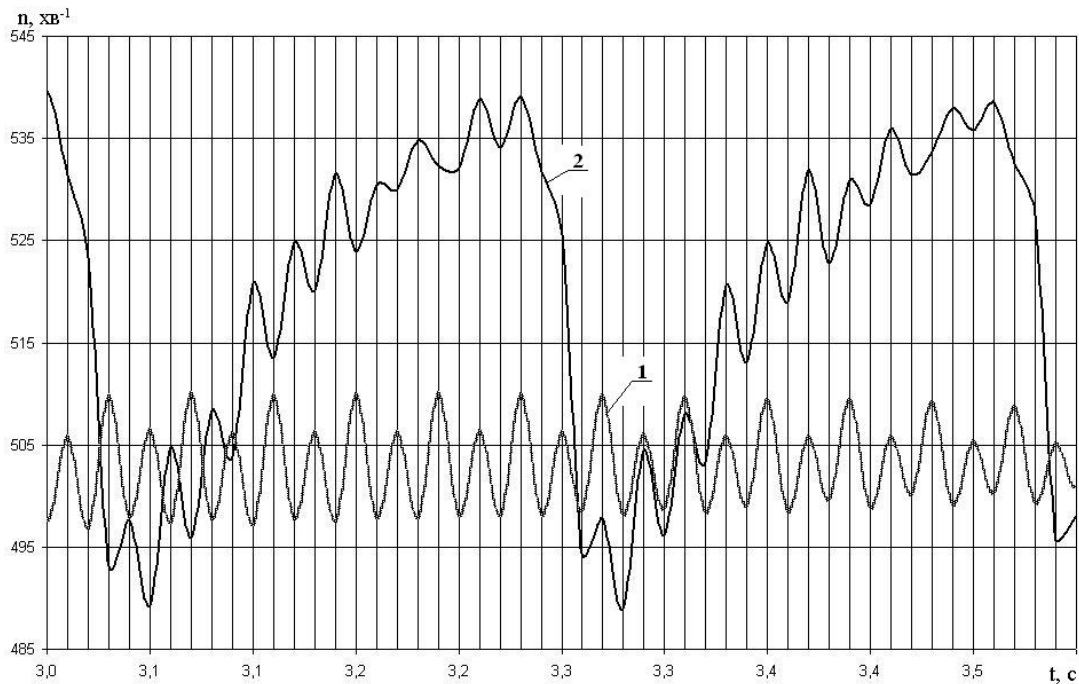


Рис. 4. Залежність частоти обертання колінчастого вала моделі дизеля від часу на режимі холостого ходу: 1 – нормальна робота всіх циліндрів, 2 – для першого правого циліндра подачу палива вимкнено

За результатами моделювання можна зробити такі висновки:

- порушення у роботі навіть одного з циліндрів суттєво впливають на нерівномірність частоти обертання колінчастого вала дизеля при сталому режимі (табл. 1);

- діагностування дизеля раціональніше проводити на обертах холостого ходу, тому що несправності проявляються більшою мірою саме при низьких частотах обертання колінчастого вала.

Таблиця 1

Результати моделювання

Режим роботи	Амплітуда коливань частоти обертання, об/хв			
	Нормальна робота	1П циліндр без палива	1П циліндр зі зниженим P_z	1П, 3Л циліндри зі зниженим P_z
Номінальний, 1500 об/хв	3	22	13	21
Холостий хід, 500 об/хв	3	82	58	69

БІБЛІОГРАФІЧНИЙ СПИСОК

1. Кончаков, Е. И. Техническая диагностика судовых энергетических установок [Текст] : учеб. пособие / Е. И. Кончаков. – Владивосток: Изд-во ДВГТУ, 2007. – 112 с.
2. Борщенко, Я. А. Разработка метода диагностирования автомобильных дизелей по неравномерности вращения коленчатого вала: автореф. дисс. ... канд. техн. наук: 05.22.10 / Курган. гос. ун-т. – Курган, 2003. – 21 с.
3. Боднар, Б. Е. Теоретические основы, опыт создания систем испытания и диагностирования тепловозов с гидродинамической передачей:

дисс. ... докт. техн. наук: 05.22.07 / Боднар Борис Евгеньевич; Днепропетр. гос. техн. ун-т ж/д трансп. – Д., 1997. – 366 с.

4. Тепловозные двигатели внутреннего сгорания [Текст] : учеб. пособие для вузов / под ред. А. Э. Симсона. – М.: Транспорт, 1987. – 536 с.
5. Тепловоз ТГМ23 [Текст] / под ред. Ю. С. Бибилова. – М.: Транспорт, 1973. – 200 с.
6. Тепловоз ТГМ1 [Текст] / под ред. Ю. С. Бибилова. – М.: Транспорт, 1974. – 216 с.

Надійшла до редколегії 17.12.2009.
Прийнята до друку 29.12.2009.