

УДК 621.436:681.518.54

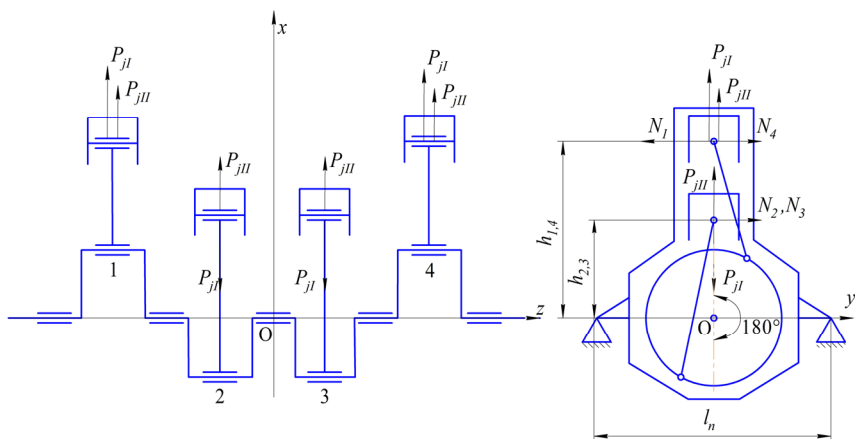
**Курносов А.Ф.**, кандидат технических наук;  
**Гуськов Ю.А.**, доктор технических наук, доцент  
*ФГБОУ ВО «Новосибирский государственный аграрный университет»,  
г. Новосибирск, Российская федерация*

## **ВЛИЯНИЕ НЕРАВНОМЕРНОСТИ РАБОТЫ ЦИЛИНДРОВ ДВИГАТЕЛЯ В РЕЖИМЕ ХОЛОСТОГО ХОДА НА ВЕЛИЧИНУ РЕАКЦИЙ ОПОР**

**Аннотация.** Экспериментально изучена динамика процесса формирования реакций опор двигателя при работе с последовательным отключением цилиндров в режиме холостого хода. Установлено, что величина реакций опор двигателя увеличивается при разгерметизации цилиндров. Это объясняется отсутствием положительных и отрицательных боковых сил на тактах сжатия неработающих цилиндров, что приводит к большему проявлению инерционных сил. Проведенные исследования положены в основу способа оценки неравномерности работы цилиндров в режиме холостого хода, который позволяет оперативно оценить работоспособность каждого цилиндра отдельно и двигателя в целом.

Известны методы определения неравномерности работы цилиндров двигателя, основанные на оценке изменения мгновенной внутрицикловой скорости вращения коленчатого вала, вызванной работой того или иного цилиндра в режиме динамической загрузки двигателя [1–4]. Данные методы достаточно просты в реализации и не требуют существенных затрат. Недостатком методов является невозможность оценить неравномерность работы цилиндров двигателя при стационарной загрузке.

Известно, что крутящий момент двигателя образуется за счет совокупного действия в кривошипно-шатунном механизме разнонаправленных и разновеликих сил. Каждый цилиндр двигателя в некоторый момент времени действует на коленчатый вал, вызывая его вращение, и на стенки цилиндра, вызывая колебания блока двигателя (рисунок 1).



$P_{jI}, P_{jII}$  – силы инерции соответственно первого и второго порядков, Н;

$N_1, N_2, N_3, N_4$ , – боковые силы, действующие на стенки соответственно 1, 2, 3 и 4-го цилиндров, Н;  $h_{1,4}, h_{2,3}$  – расстояния от оси поршневых пальцев 1 и 4-го, а также 2 и 3-го цилиндров до оси вращения коленчатого вала, м;  $l_n$  – расстояние от оси вращения коленчатого вала до точки измерения силы на  $n$ -й опоре, м;

$M_e$  – эффективный крутящий момент двигателя, Н·м;

$M_R$  – реактивный крутящий момент двигателя, Н·м.

Рисунок 1 – Схема сил и крутящих моментов, действующих в кривошипно-шатунном механизме четырехцилиндрового двигателя

Совокупное действие сгорающих газов и сил инерции  $P_{jI}, P_{jII}$  приводит к образованию боковых сил  $N_1, N_2, N_3, N_4$  и результирующего реактивного крутящего момента относительно оси вращения коленчатого вала, действие которого уравновешивается реакциями опор [5]:

$$F_j = \sum_{i=1}^4 k_{in} N_i ; \quad (1)$$

$$k_{in} = \frac{h_i}{l_n} , \quad (2)$$

где  $N_i$  – боковая сила  $i$ -го цилиндра, Н.

$h_i$  – расстояния от оси поршневого пальца  $i$ -го цилиндра до оси вращения коленчатого вала, м.

Таким образом, изменение газодинамических процессов, протекающих в цилиндрах, вызывает неравномерность их работы, колебания эффективного крутящего момента и, соответственно, реакций опор двигателя. С учетом изложенного, неравномерность работы цилиндров двигателя возможно оценить по изменению величины реакций опор за некоторый угол поворота коленчатого вала, т.е.:

$$\frac{F_E}{\Delta\varphi} = \frac{\frac{\Delta F_{i\max} - \Delta F_{i\min}}{\Delta\varphi}}{\frac{\Delta F_{i\text{CP}}}{\Delta\varphi}} \cdot 100\%, \quad (3)$$

где  $\Delta F_{i\max}$  – максимальное изменение силы  $i$ -го цилиндра за цикл работы, Н;

$\Delta F_{i\min}$  – минимальное изменение силы  $i$ -го цилиндра, за цикл работы, Н.

$\Delta\varphi$  – угол поворота коленчатого вала за период измерения реакций опор, град.

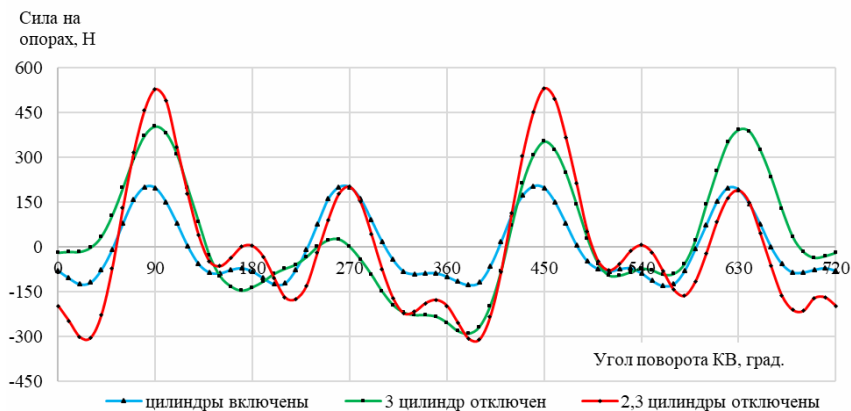


Рисунок 2 – Изменение реакций опор двигателя при работе с частью отключенных цилиндров в режиме холостого хода

Экспериментальные исследования проводились по ранее разработанной методике [5]. В процессе исследований установлено, что последовательное отключение цилиндров приводит к увеличению реакции опор (рисунок 2).

Так при равномерной работе двигателя со всеми включенными цилиндрами наблюдается цикличное изменение реакций опор с периодом 180 градусов поворота коленчатого вала. Максимальные значения реакций опор наблюдается в момент положения коленчатого вала 85 градусов поворота после мертвой точки, т.е. в момент совершения в соответствующем цилиндре такта сгорания. Минимальные значения реакций опор наблюдаются при положении коленчатого вала 25 градусов поворота коленчатого вала, т.е. в момент начала такта сгорания, когда совершена работа по сжатию газов, а положительная работа такта сгорания еще не проявилась вследствие минимального отклонения шатуна от оси цилиндра. При последовательном отключении одного и двух цилиндров цикличность изменения реакций опор нарушается, максимальные значения реакций опор достигают величин 400 и 530 Н соответственно, что объясняется увеличением цикловой подачи топлива в рабочие цилиндры для поддержания заданной частоты вращения коленчатого вала двигателя.

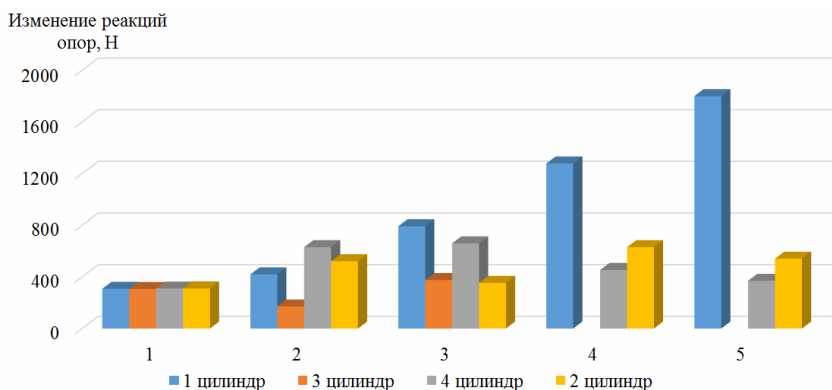


Рисунок 3 – Изменение величины реакций опор при работе двигателя с частью отключенных цилиндров в режиме холостого хода:

- 1 – равномерная работа двигателя на всех цилиндрах;
- 2 – третий цилиндр отключен; 3 – третий и второй цилиндры отключены;
- 4 – третий, четвертый и второй цилиндры отключены и загерметизированы;
- 5 – третий, четвертый и второй цилиндры отключены и разгерметизированы

Изменение величины реакций опор при работе двигателя с частью отключенных цилиндров в режиме холостого хода представ-

лено на рисунке 3. Из рисунка видно, что при увеличении числа отключенных цилиндров реакции опор увеличиваются и достигают максимального значения 1800 Н при работе двигателя на одном цилиндре и разгерметизированных остальных. Это объясняется отсутствием положительных и отрицательных боковых сил на тактах сжатия неработающих цилиндров, что приводит к большему проявлению инерционных сил. Таким образом, оценив величину реакций опор, возможно установить неравномерность работы цилиндров двигателя внутреннего сгорания. Проведенные экспериментальные исследования положены в основу способа оценки неравномерности работы цилиндров в режиме холостого хода, который позволяет оперативно оценить работоспособность каждого цилиндра отдельно и двигателя в целом.

Выводы. Работа двигателя в режиме холостого хода сопровождается формированием знакопеременных сил в кривошипно-шатунном механизме, результат действия которых приводит к образованию крутящего момента на коленчатом валу и реакций на опорах. Неравномерность работы цилиндров двигателя возможно оценить по величине реакций опор, формируемых за счет действия газодинамических процессов сгорания топлива в цилиндрах.

#### Список использованных источников

1. Гребенников А.С., Никитин А.В. Математическая модель внутрициклового изменения угловой скорости коленчатого вала дизеля на холостом ходу // Известия Волгоградского государственного технического университета. 2013. № 12. С. 42–46.
2. Гребенников А.С. Диагностирование автотракторных двигателей динамическим методом. Саратов: 2002. 196 с.
3. Гребенников С.А., Федоров Д.В., Гребенников А.С. Диагностирование ДВС по показателям угловой скорости коленчатого вала // Известия Волгоградского государственного технического университета. 2012. № 12. С. 64–67.
4. Панченко М.Н., Грачев В.В., Грищенко А.В. Анализ мгновенной угловой скорости коленчатого вала // Транспорт Российской Федерации. 2018. № 4. С. 59–62.
5. Курносов А.Ф., Гуськов Ю.А., Корниенко В.Н., Галынский А.А. Изменение импульсносиловой характеристики двигателя при работе с отключением цилиндров в режиме холостого хода // Технический сервис машин. 2022. Т. 60. №3(148). С. 21–33.