

## ВЛИЯНИЕ ПОКАЗАТЕЛЕЙ РАБОТЫ ДВИГАТЕЛЯ НА НЕРАВНОМЕРНОСТЬ КРУТЯЩЕГО МОМЕНТА

Косинцев С. А.<sup>1</sup>

<sup>1</sup>ГНЦ РФ ФГУП НАМИ, г. Москва, [sergey.kosintsev@nami.ru](mailto:sergey.kosintsev@nami.ru)

*Ключевые слова:* двигатели внутреннего сгорания (ДВС), неравномерность крутящего момента, крутящий момент двигателя.

В ДВС параметры рабочего процесса и динамики КШМ непрерывно изменяются в течение цикла, поэтому величина крутящего момента и частоты вращения являются функцией угла поворота коленчатого вала. Подобного рода неравномерности влияют на нагрузку трансмиссии, плавность хода и виброакустический уровень комфорта автомобиля.

Крутящий момент создает тангенциальная сила  $T$  (перпендикулярная кривошипу с радиусом  $R$ ), которая в свою очередь является функцией суммарной силы  $P_{\Sigma}$ :

$$M_{кр} = TR = \overline{P}_{\Sigma} \frac{\sin(\alpha + \beta)}{\cos(\beta)} R = (\overline{P}_r + \overline{P}_f) \frac{\sin(\alpha + \beta)}{\cos(\beta)} R.$$

Для оценки неравномерности используется коэффициент неравномерности крутящего момента [1]:

$$\mu = \frac{M_{кр_{\max}} - M_{кр_{\min}}}{M_{кр_{cp}}},$$

Изменяя в широком диапазоне  $n$  при сохранении индикаторной диаграммы ( $p_z = \text{const}$ ), заметно следующие явление. Кривая неравномерности снижаясь достигает минимума 1,107 вблизи 6500 мин<sup>-1</sup> (что выше рабочего диапазона исследуемого двигателя), а дальше величина коэффициента, наоборот, начинает расти. Уменьшение коэффициента неравномерности с ростом угловой скорости связано со спадом суммарной силы вблизи ВМТ и значительным увеличением при НМТ. Дальнейшее увеличение инерционной силы приводит к значительному росту значений силы  $T$  в области насосных ходов что значительно увеличивает разницу между  $M_{кр_{\max}}$  и  $M_{кр_{\min}}$ , что приводит к росту неравномерности, схожее поведение отмечено в работе [2].

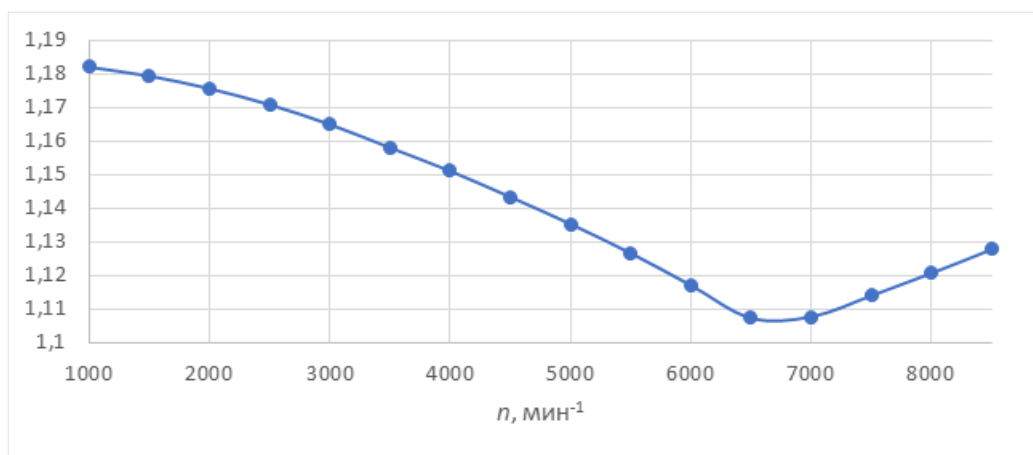


Рисунок 1 – Зависимость коэффициента неравномерности крутящего момента от частоты вращения коленчатого вала

На неравномерность влияет не только частота вращения, но и развиваемая мощность. Для сопоставления режимов рассмотрим два случая при частоте вращения 2000 мин<sup>-1</sup> -  $p_e = 25$  бар и  $p_e = 2$  бар – рис. 2. При взгляде на графики может создаться впечатление, что режим  $p_e = 2$  бар обладает лучшей равномерностью относительно полной мощности, однако относительная разница больше, чем у  $p_e = 25$  бар:

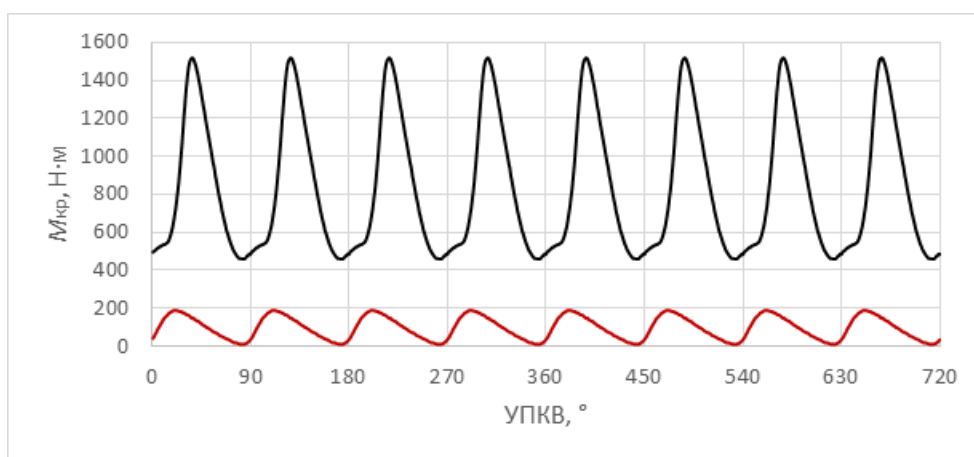


Рисунок 2 – Крутящий момент для  $p_e = 25$  бар (черная линия) и  $p_e = 2$  бар (красная линия) при частоте вращения  $2000 \text{ мин}^{-1}$

В течение эксплуатации двигателя нередки случаи отказа одного или нескольких цилиндров, при пропуске воспламенения в третьем цилиндре на частоте вращения  $1500 \text{ мин}^{-1}$  снижение коэффициента неравномерности составило с 1,46 до 2,41. Отказ двух и трех цилиндров снижает величину коэффициента до 2,81 и 3,44 соответственно. В случае пропуска воспламенения в последовательно работающих цилиндрах, например, № 3 и № 7 для порядка работы 1-3-7-2-6-5-4-8 неравномерность будет выше ( $\mu = 2,9$ ), чем у удаленных цилиндров (№ 3 и № 6 цилиндр), где  $\mu = 2,81$ . В результате любой отказ цилиндра выражается в значении коэффициента неравномерности  $\mu > 2,0$ .

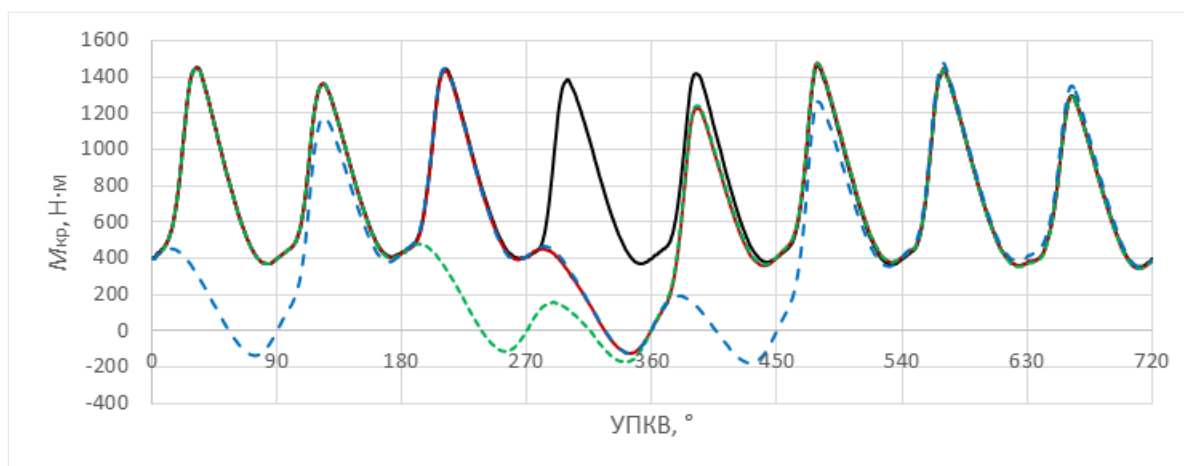


Рисунок 3 –  $M_{кр}$  для нормального сгорания и пропуска воспламенения нескольких цилиндров при частоте вращения  $1500 \text{ мин}^{-1}$ ;  $M_{кр}$  двигателя без пропусков – черная линия,  $M_{кр}$  двигателя с одним пропуском – красная линия,  $M_{кр}$  двигателя с двумя пропусками – зеленая линия,  $M_{кр}$  двигателя с тремя пропусками – синяя линия

### Список литературы

1. Попык К. Г. Динамика автомобильных и тракторных двигателей / К. Г. Попык. – М.: Высшая школа, 1970. – 328 с.
2. Гутиева Наталия Азирбековна, Султанова Людмила Магомедова Исследования влияния частоты вращения, среднего индикаторного давления, максимального давления сгорания и числа цилиндров на неравномерность хода и крутящего момента рядных и V-образных двигателей // Вестник ДГТУ. Технические науки. – 2009. – №15.

## INFLUENCE OF ENGINE PERFORMANCE INDICATORS ON TORQUE IRREGULARITY

Kosintsev S. A.<sup>1</sup>

<sup>1</sup>FSUE NAMI, Design engineer, Moscow, [sergey.kosintsev@nami.ru](mailto:sergey.kosintsev@nami.ru)

*Keywords: internal combustion engines (ICE), torque unevenness, engine torque.*

In an internal combustion engine, the parameters of the working process and the dynamics of the crankshaft change continuously during the cycle, so the amount of torque and speed is a function of the angle of rotation of the crankshaft. This kind of unevenness affects the transmission load, ride smoothness and NVH comfort level of the car.

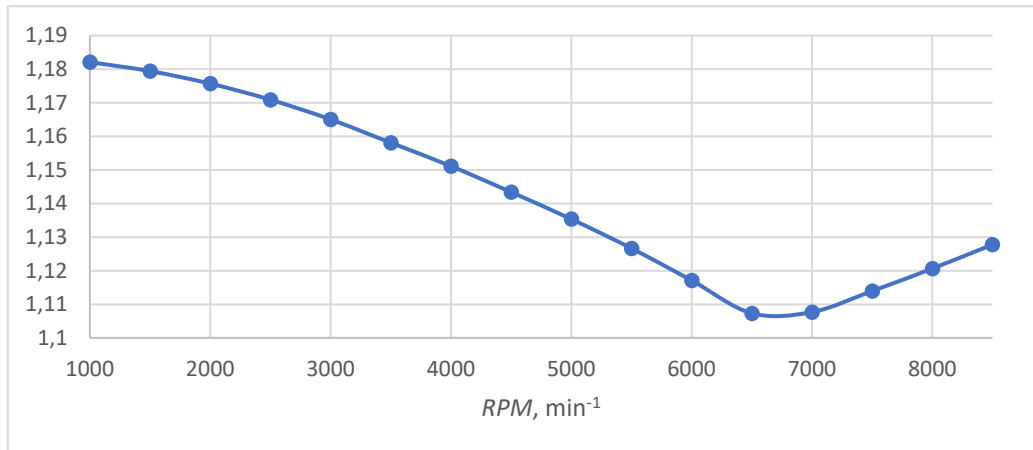
The torque is generated by the tangential force  $T$  (perpendicular to the crank with radius  $R$ ), which in turn is a function of the total force  $P_{\Sigma}$ :

$$M = TR = \overline{P}_{\Sigma} \frac{\sin(\alpha + \beta)}{\cos(\beta)} R = (\overline{P}_g + \overline{P}_j) \frac{\sin(\alpha + \beta)}{\cos(\beta)} R.$$

To assess the non-uniformity, the coefficient of non-uniformity of the torque is used [1]:

$$\mu = \frac{M_{max} - M_{min}}{M_{average}},$$

Changing in a wide range  $n$  while maintaining the indicator diagram ( $p_z = \text{const}$ ), the following phenomenon is noticeable. The non-uniformity curve, decreasing, reaches a minimum of 1.107 near  $6500 \text{ min}^{-1}$  (which is higher than the operating range of the engine under study), and then the value of the coefficient, on the contrary, begins to grow. The decrease in the non-uniformity coefficient with an increase in the angular velocity is associated with a decrease in the total force near TDC and a significant increase at BDC. A further increase in the inertial force leads to a significant increase in the values of the force  $T$  in the area of pumping strokes, which significantly increases the difference between  $M_{max}$  and  $M_{min}$ , which leads to an increase in unevenness, a similar behavior was noted in [2].



*Fig. 1 - Dependence of the coefficient of uneven torque on the frequency of rotation of the crankshaft*

The unevenness is affected not only by the speed, but also by the developed power. To compare modes, we consider two cases at a speed of  $2000 \text{ min}^{-1}$  -  $p_e = 25 \text{ bar}$  and  $p_e = 2 \text{ bar}$  - fig. 2. When looking at the graphs, one might get the impression that the  $p_e = 2 \text{ bar}$  mode has better uniformity relative to full power, but the relative difference is greater than  $p_e = 25 \text{ bar}$ :

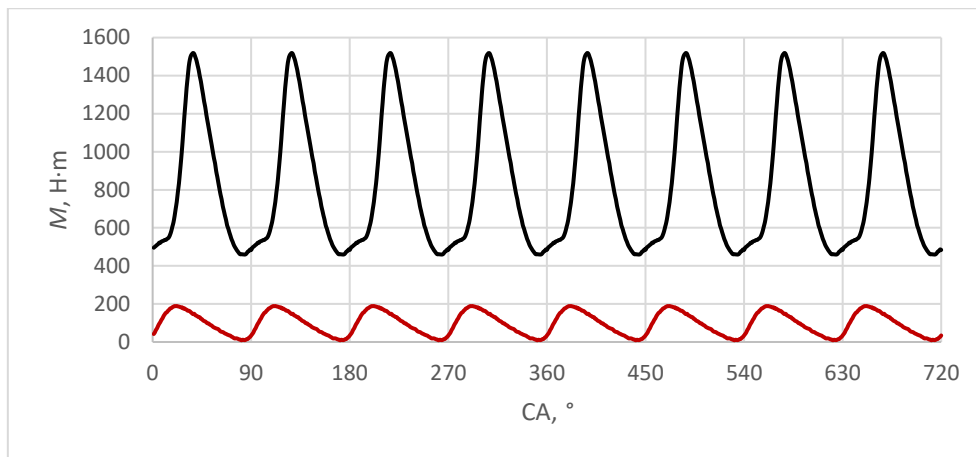


Fig. 2 - Torque for  $p_e = 25$  bar (black line) and  $p_e = 2$  bar (red line) at 2000 rpm

During the operation of the engine, cases of failure of one or several cylinders are not uncommon, with a misfire in the third cylinder at a speed of  $1500 \text{ min}^{-1}$ , the decrease in the unevenness coefficient was from 1.46 to 2.41. Failure of two and three cylinders reduces the coefficient to 2.81 and 3.44, respectively. In the case of misfire in sequentially operating cylinders, for example, No. 3 and No. 7 for the order of operation 1-3-7-2-6-5-4-8, the unevenness will be higher ( $\mu = 2.9$ ) than for remote cylinders (No. 3 and No. 6 cylinder), where  $\mu = 2.81$ . As a result, any failure of the cylinder is expressed in the value of the coefficient of unevenness  $\mu > 2.0$ .

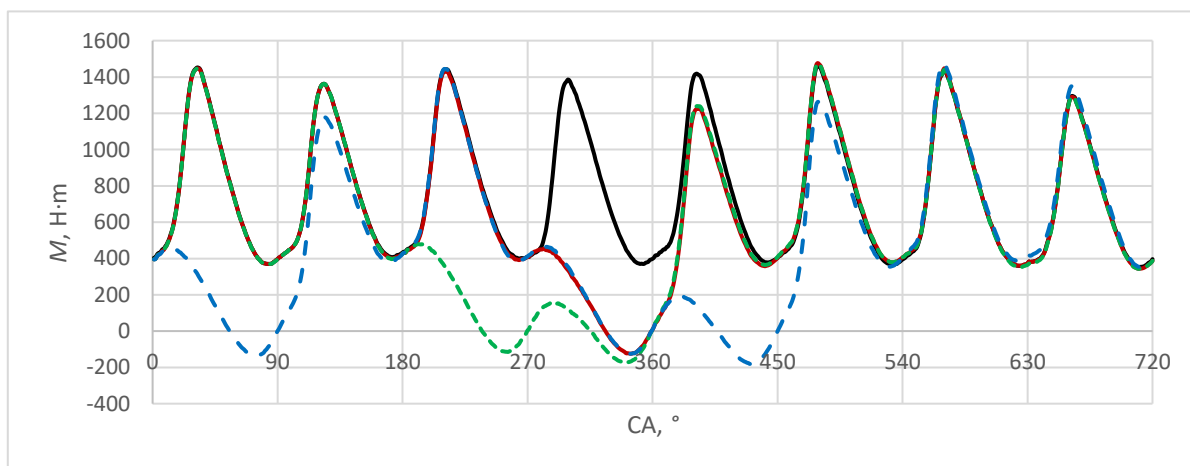


Fig. 3 -  $M$  for normal combustion and misfire of several cylinders at a speed of  $1500 \text{ min}^{-1}$   $M$  of a motor without gaps - black line,  $M$  of a motor with one gap - red line,  $M$  of a motor with two gaps - green line,  $M$  of a motor with three gaps - blue line

### Bibliography

1. Popyk K. G. Dynamics of automobile and tractor engines / K. G. Popyk. – M.: Higher School, 1970. – 328 p.
2. Natalia Azirbekovna Gutieva, Lyudmila Magomedova Sultanova Studies of the influence of rotational speed, average indicator pressure, maximum combustion pressure and number of cylinders on the stroke and torque unevenness of in-line and V-shaped engines // Bulletin of the DSTU. Technical science. – 2009. – No. 15.