

---

## ОБОСНОВАНИЕ ДИАГНОСТИЧЕСКОГО ПАРАМЕТРА ДЛЯ ОЦЕНКИ ДИСБАЛАНСА ДВИГАТЕЛЕЙ МАШИН

В.М. Натарзан, О.Л. Щурова,  
Р.Х. Абу-Ниджим

Кафедра эксплуатации автотранспортных средств  
Инженерный факультет  
Российский университет дружбы народов  
*ул. Миклухо-Маклая, 8, корпус 3, Москва, Россия, 117198*

Выявлена зависимость внутрициклового ускорения вращения коленчатого вала на установившемся режиме ДВС с величиной его дисбаланса. На основе этой зависимости разработан способ безразборной оценки неуравновешенности двигателей машин.

**Ключевые слова:** дисбаланс двигателя, внутрицикловое ускорение, номограмма для определения дисбаланса, неравномерность вращения коленчатого вала.

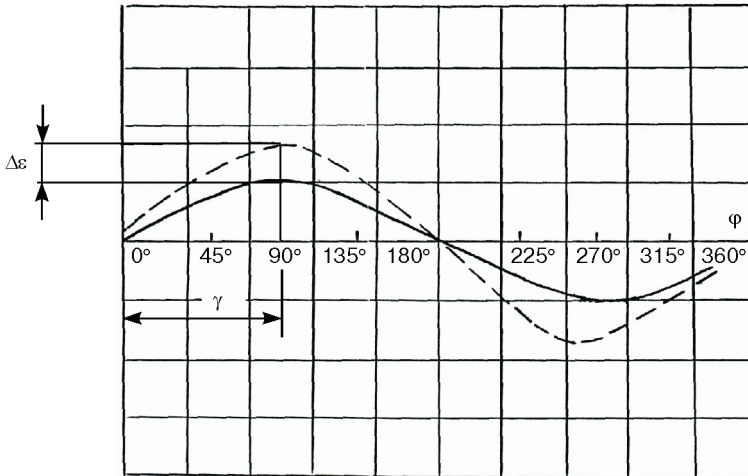
Своевременная балансировка двигателя является одним из основных мероприятий, повышающих его технический ресурс. Величина дисбаланса двигателя в процессе эксплуатации возрастает в 2—3 раза, а это ведет к росту интенсивности износа ресурсных сопряжений двигателя в 1,7—2,6 раза. Кроме того, неуравновешенные силы вызывают вибрацию двигателя, а износ в условиях вибрации наиболее значителен, так как на поверхности сопряжений возникают усталостные трещины. На преодоление вибраций и других возмущающих воздействий, вызываемых неуравновешенными силами, расходуется 10—12% эффективной мощности двигателя, а расход топлива увеличивается на 15%. В связи с этим особую важность приобретает задача совершенствования способов контроля дисбаланса.

Основываясь на принципах динамического метода, можно оценивать техническое состояние двигателя по внутрицикловой неравномерности вращения коленчатого вала в стационарном установившемся режиме работы двигателя на холостом ходу. Внутрицикловая неравномерность вращения обладает значительной информативностью. При ее анализе можно получать данные о таких параметрах, как поцилиндровая мощность, угол опережения впрыска топлива, неплотность цилиндро-поршневой группы. Таким образом, представляется целесообразным отследить взаимосвязь между дисбалансом двигателя и внутрицикловым ускорением коленчатого вала с целью совершенствования методов контроля дисбаланса.

В соответствии с уравнением динамики двигателя внутрицикловое ускорение коленчатого вала  $\epsilon_{\text{д}}$  содержит компрессионную, газовую инерционную и составляющую сил трения.

Неуравновешенные массы оказывают наибольшее влияние на инерционную составляющую внутрициклового ускорения, а термодинамическая составляющая, вызванная рабочими процессами в цилиндрах, является помехой при контроле дисбаланса. Поэтому алгоритм извлечения диагностической информации основан на применении частотной фильтрации полосовыми фильтрами, что позволяет вы-

делить инерционную составляющую, очищенную от помех. Величина дисбаланса оценивается по максимальной разности между инерционной составляющей ускорения контролируемого и эталонного двигателей, а угловое положение этой разности относительно метки ВМТ соответствует фазовому углу дисбаланса (рис. 1).



**Рис. 1.** Определение величины и угла дисбаланса двигателя

Установлено, что на инерционные составляющие ускорения сильное влияние оказывает скоростной режим. Таким образом, подтверждается необходимость контроля дисбаланса на более высоких частотах. Влияние дисбаланса на размах инерционных составляющих также более значимо на высоких частотах: так, при частоте 1400 об/мин и дисбалансе 300 г мм размах остаточной инерционной составляющей возрастает в 1,2 раза, а при 2250 об/мин — в 1,6 раза. С учетом этого определен скоростной режим при оценке дисбаланса двигателя, равный 1800 об/мин для ЯМЗ-240Б и 2100 об/мин для Д-240.

Для экспериментального подтверждения возможности контроля дисбаланса двигателя по величине внутрициклового ускорения коленчатого вала получены данные о влиянии факторов, определяющих неуравновешенность кривошипно-шатунного механизма, на значение мгновенного углового ускорения. Такими факторами являются: неуравновешенная масса, частота вращения коленчатого вала, фазовый угол дисбаланса. В качестве уравнения связи выбрана модель регрессионного анализа для исследования нелинейных процессов. Определены три уровня варьирования факторов (табл.) по двигателям ЯМЗ-240Б и Д-240 [3].

Таблица

**Уровни варьирования факторов**

| Марка двигателя | Наименование факторов         | Уровень факторов |              |             |
|-----------------|-------------------------------|------------------|--------------|-------------|
|                 |                               | Нижний (-)       | Основной (0) | Верхний (+) |
| ЯМЗ-240Б        | Число оборотов, об/ мин       | 1 500            | 1 700        | 1 900       |
| ЯМЗ-240Б        | Величина дисбаланса, г/мм     | 400              | 200          | 0           |
| ЯМЗ-240Б        | Угол дисбаланса, град. от ВМТ | 120              | 0            | 240         |
| Д-240           | Число оборотов, об/ мин       | 1 900            | 2 100        | 2 300       |
| Д-240           | Величина дисбаланса, г/мм     | 500              | 250          | 0           |
| Д-240           | Угол дисбаланса, град. от ВМТ | 120              | 0            | 240         |

Экспериментальные данные аппроксимировались функцией вида:

$$Y = v_0 + v_1x_1 + v_2x_2 + v_3x_1^2 + v_4x_2^2 + v_5x_1x_2, \quad (1)$$

где  $Y$  — отклик;  $x_1, x_2$  — факторы;  $v_0, \dots, v_5$  — коэффициенты.

В результате обработки экспериментальных данных получено регрессионное уравнение для двигателей Д-240:

$$E = -533,92 + 0,5187n - 0,771D - 0,125 \cdot 10^{-3}n^2 + 0,8 \cdot 10^{-4}D^2 + 0,4 \cdot 10^{-3}nD. \quad (2)$$

Регрессионная зависимость для двигателей ЯМЗ-240Б имеет вид

$$E = 90,03 - 0,1047n - 0,1723D + 0,3 \cdot 10^{-4}n^2 + 0,32 \cdot 10^{-4}D^2 + 0,132 \cdot 10^{-3}nD, \quad (3)$$

где  $E$  — величина внутрициклового ускорения коленчатого вала двигателя при установившемся режиме его работы, рад/с<sup>2</sup>;  $n$  — число оборотов коленчатого вала двигателя, об/мин;  $D$  — величина дисбаланса, г/мм.

Значимость влияния исследуемых факторов на величину внутрициклового ускорения оценили с помощью коэффициентов значимости, характеризующих изменение величины внутрициклового ускорения при изменении параметров на 1%.

Анализ коэффициентов показал, что наибольшее воздействие на величину внутрициклового ускорения в стационарном режиме работы двигателя имеет частота вращения коленчатого вала. Уменьшение указанного фактора на 1% вызывает снижение величины внутрициклового ускорения на 2,6% в соответствии с зависимостью (2). Уменьшение на 1% величины дисбаланса снижает функцию отклика на 2,2%.

Наибольшее воздействие на величину внутрициклового ускорения двигателя ЯМЗ-240Б (3) имеет величина дисбаланса. Так, уменьшение указанного фактора на 1% вызывает снижение значения внутрициклового ускорения на 1,5%. Уменьшение частоты вращения коленчатого вала на 1% снижает функцию отклика на 0,75%. На основе полученных регрессионных зависимостей (2) и (3) построена номограмма (рис. 2) для определения дисбаланса двигателей Д-240 и ЯМЗ-240Б.

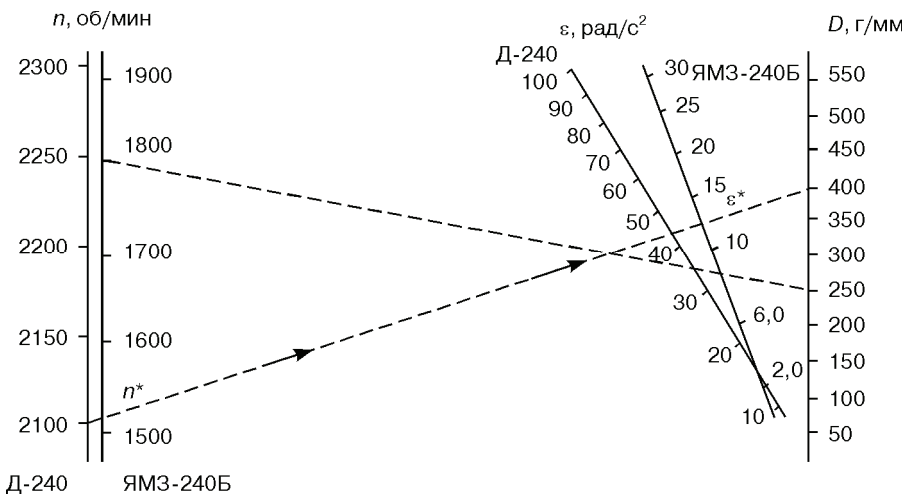


Рис. 2. Номограмма для определения дисбаланса двигателей Д-240 и ЯМЗ-240Б

Оценка уровня дисбаланса двигателей осуществляется с помощью прибора ПКПиБ, который определяет на установившемся режиме работы двигателя его внутрицикловое ускорение ( $\epsilon^*$ ) и количество оборотов коленчатого вала ( $n^*$ ). Затем на оси ( $\epsilon$ ) номограммы фиксируется величина внутрициклового ускорения коленчатого вала  $\epsilon^*$ , а на оси ( $n$ ) — его обороты ( $n^*$ ). Искомое значение дисбаланса определяется в точке пересечения оси ( $D$ ) прямой  $\epsilon^*n^*$ .

\*\*\*

В качестве диагностического параметра для оценки дисбаланса двигателей машин целесообразно применять внутрицикловое ускорение вращения коленчатого вала в стационарном режиме на холостом ходу.

### ЛИТЕРАТУРА

- [1] *Натарзан В.М., Шипунов О.А.* Влияние неуравновешенности масс на момент сопротивления двигателя // Науч.-техн. бюл./ВАСХНИЛ. Сиб. отделение. — Новосибирск, 1986. — Вып. 29: Повышение эффективности использования машин. — С. 48—53.
- [2] *Натарзан В.М., Шипунов О.А.* Контроль дисбаланса двигателей внутреннего сгорания // Науч.-техн. бюл./ ВАСХНИЛ. Сиб. отделение. — Новосибирск, 1987. — Вып. 23: Методы, алгоритмы, средства диагностирования и обеспечения работоспособности техники. — С. 45—49.
- [3] *Натарзан В.М., Гладков А.К.* Технология контроля качества балансировки и обкатки ДВС с использованием прибора ПКБ-1: Метод. Рекомендации / ВАСХНИЛ. Сиб. отделение. — Новосибирск, 1988.

## **SUBSTANTIATION OF DIAGNOSTIC PARAMETER ESTIMATES FOR MOTORVEHICLES IMBALANCE**

**V.M. Natarzan, O. Schurova,  
R.H. Abu-Nidzhim**

Engineering Faculty  
People's Friendship University of Russia  
*Mikluho-Maklaya, 8-3, Moscow, Russia, 117198*

The dependence between intracyclic rotary acceleration of crankshaft and engine's disbalance quantity was revealed on the steady-state regime. On basis of this dependence, method of nonseparable appraisal engine's imbalance had been developed.

**Key words:** engine's disbalance, intracyclic acceleration, nomogram for determining unbalance, uneven rotation of the crankshaft.