

УДК 621.436

ВЛИЯНИЕ ВЕЛИЧИНЫ ДЕЗАКСАЖА КРИВОШИПНО-ШАТУННОГО МЕХАНИЗМА НА ТЕХНИКО-ЭКОНОМИЧЕСКИЕ ПОКАЗАТЕЛИ РАБОТЫ ДВУХТАКТНОГО ДВИГАТЕЛЯ ВНУТРЕННЕГО СГОРАНИЯ

*Канд. техн. наук ВЕРШИНА Г. А.,
инженеры ГАЛОНСКИЙ С. Э., ПИЛАТОВ А. Ю., ТАМКОВИЧ Е. С.*

Белорусский национальный технический университет

Одним из путей повышения удельной мощности двигателя внутреннего сгорания (ДВС) является осуществление двухтактного цикла. Экспериментальные исследования и сравнительные расчеты показывают, что литровая мощность двухтактного двигателя при прочих равных параметрах больше литровой мощности четырехтактного двигателя в 1,5–1,7 раза [1, 2].

В то же время бензиновые ДВС с кривошипно-камерной продувкой вследствие неизбежности выброса части горючей смеси в выпускное окно имеют более низкую экономичность и повышенную токсичность отработавших газов по сравнению с четырехтактными.

Улучшить характеристики двухтактных бензиновых ДВС можно за счет совершенствова-

ния кривошипно-шатунного механизма двигателя, в частности путем применения в нем оптимального дезаксажа.

Поршень в процессе совершаемого им возвратно-поступательного движения имеет переменную скорость. При угле поворота кривошипа $70-80^\circ$ и $250-270^\circ$ скорость поршня достигает максимального значения. Согласно проведенным в работе теоретическим исследованиям при неизменных радиусе кривошипа и длине шатуна, смещение оси поршневого пальца относительно осей поршня, цилиндра и коленчатого вала в вертикальной плоскости в дезаксиальном кривошипно-шатунном механизме (КШМ) определяется как дезаксаж в поршне [4]. Считаем, что такое смещение оси поршневого пальца при вращении коленчатого вала относительно цилиндра по часовой стрелке в направлении вращения коленчатого вала будет положительным дезаксажем, в противном случае – отрицательным дезаксажем. Дезаксаж в поршне позволяет смещать область максимальных значений скорости поршня в сторону верхней мертвой точки, а также увеличивать их абсолютную величину.

Схема дезаксиального кривошипно-шатунного механизма двухтактного двигателя с положительным дезаксажем в поршне представлена на рис. 1.

Дезаксаж в поршне следует выбирать таким образом, чтобы поршень проходил путь от закрытия продувочного окна до закрытия выпускного окна при максимальной скорости. Это позволяет снизить время на закрытие выпускного окна после закрытия продувочного окна.

Координата верхней кромки поршня относительно плоскости газового стыка

$$x_{в.кр} = x_{max} - \left(r \cos \varphi + l \sqrt{1 - (\lambda (\sin \varphi - k))^2} + x_0 \right), \quad (1)$$

где x_{max} – расстояние от оси вращения коленчатого вала до нижней плоскости головки цилиндров; x_0 – вертикальное расстояние между кромкой поршня и точкой крепления поршневого пальца; r – радиус кривошипа; l – длина шатуна; e – величина дезаксажа; φ – угол поворота коленчатого вала, отсчитываемый от оси цилиндра в сторону вращения коленчатого вала по часовой стрелке, $\varphi = \omega t$; t – время поворота

кривошипа на угол φ ; n – частота вращения коленчатого вала двигателя; $\lambda = r/l$ – отношение радиуса кривошипа к длине шатуна; $k = e/r$ – относительный дезаксаж.

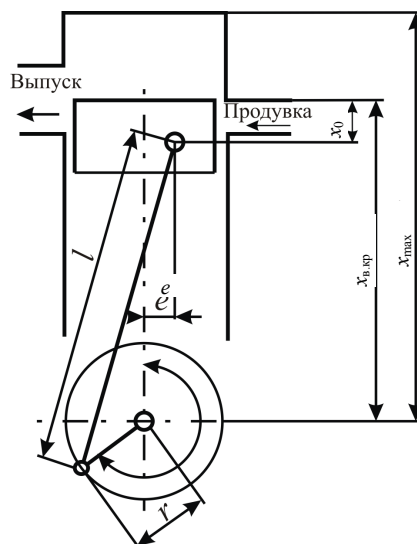


Рис. 1. Схема кривошипно-шатунного механизма двухтактного двигателя внутреннего сгорания с дезаксажем в момент закрытия верхней кромкой поршня продувочного окна

С целью оценки технико-экономических показателей двигателей с экспериментальным поршнем, в котором имелся положительный дезаксаж в поршне, с нулевым дезаксажем в поршне, а также с отрицательным дезаксажем была разработана математическая модель кинематики и динамики указанных двигателей. В результате этого введены две критериальные оценки: критериальная оценка «время – сечение» K_{ft} и критерий боковой силы K_N .

Критерий времени сечения определяем по формуле

$$K_{ft} = \frac{F_{td}}{F_t}, \quad (2)$$

где F_{td} – критерий «время – сечение» прямоугольной щели, ограниченной кромками выпускного окна гильзы и верхней кромкой поршня, перекрывающего это окно, для двигателя с дезаксажем; F_t – то же для двигателя с нулевым дезаксажем.

Формула для определения критерия «время – сечение» в промежуток времени между закрытием продувочного и выпускного окон имеет вид

$$\begin{aligned}
 F &= \int_{\varphi_0}^{\varphi_1} \frac{30\pi}{n} \left(br \left(\sqrt{\left(\frac{1}{\lambda} + 1\right)^2 - k^2} - \left(\cos \varphi + \frac{1}{\lambda} - \frac{1}{2} \lambda k^2 + \lambda k \sin \varphi - \frac{1}{4} \lambda + \frac{1}{4} \lambda \cos 2\varphi \right) \right) \right) d\varphi = \\
 &= \frac{3\pi}{n} br \left((\varphi_1 - \varphi_0) \left(\sqrt{\left(\frac{1}{\lambda} + 1\right)^2 - k^2} - \frac{1}{\lambda} + \frac{1}{2} \lambda k^2 + \frac{1}{4} \lambda \right) - (\sin \varphi_1 - \sin \varphi_0) + \right. \\
 &\quad \left. + \lambda k (\cos \varphi_1 - \cos \varphi_0) - \frac{1}{8} \lambda (\sin 2\varphi_1 - \sin 2\varphi_0) \right), \tag{3}
 \end{aligned}$$

где b – ширина выпускного окна; φ_0 – угол, соответствующий закрытию продувочного окна; φ_1 – то же выпускного окна.

Влияние относительного дезаксажа на критерий «время – сечение» K_{ft} исходя из аналитических расчетов представлено на рис. 2.

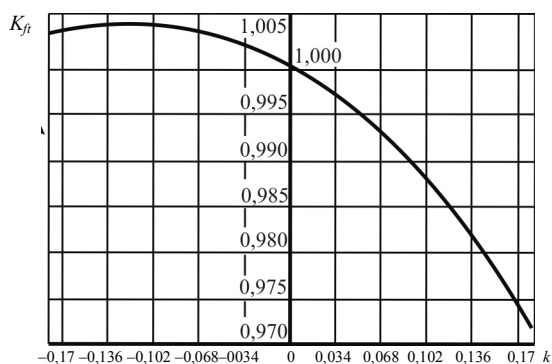


Рис. 2. Зависимость критерия «время – сечение» K_{ft} от относительного дезаксажа k

Как видно из рис. 2, с изменением положительного относительного дезаксажа k в диапазоне 0–0,17 «время – сечение» щели выпускного окна на номинальном режиме работы двигателя уменьшается до 3 %. В свою очередь, и изменение на том же номинальном режиме отрицательного относительного дезаксажа k в диапазоне 0–(–0,17) увеличивает «время – сечение» щели выпускного окна до 0,5 %.

Кроме рассмотренного фактора потерь горючей смеси на такте сжатия, оцениваемого критерием «время – сечение», с точки зрения теории рабочих процессов [3], для данного типа двухтактного двигателя при оценке его экономичности необходимо учитывать и величину мощности механических потерь в двигателе. В общем случае мощность механических потерь определяется величиной силы бокового давления на стенку гильзы цилиндра. Также из

теории известно [4–6], что меньший механический КПД и соответственно больший удельный эффективный расход топлива имеет двигатель с большими силами боковых давлений на стенку цилиндра.

С целью оценки фактора механических потерь был разработан критерий боковой силы, характеризующий механические потери в двигателе:

$$K_N = \frac{N_d}{N}, \tag{4}$$

где N_d – боковая сила, действующая перпендикулярно к оси цилиндра на его стенку для двигателя с дезаксажем; N – то же с нулевым дезаксажем (рис. 3).

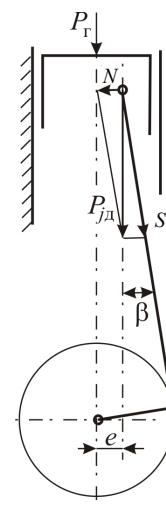


Рис. 3. Схема действия сил в кривошипно-шатунном механизме

Боковую силу N_d для двигателя с дезаксажем можно выразить как

$$N_d = P_d \operatorname{tg} \beta_d \approx P_d \lambda (\sin \varphi - k), \tag{5}$$

где P_d – суммарная сила, действующая на поршневой палец.

Для двигателя с нулевым дезаксажем боковая сила имеет вид

$$N = Ptg\beta \approx P\lambda(\sin\varphi), \quad (6)$$

где β – угол отклонения шатуна от оси цилиндра.

Анализируя (5) и (6), можно сделать вывод о том, что при одном и том же давлении в цилиндре боковая сила и, как следствие, боковое давление на стенку цилиндра будут меньше у двигателя, имеющего положительный дезаксаж в поршне. Причем с ростом положительного дезаксажа критерий боковой силы K_N снижается. Следует также иметь в виду, что из-за «мягкой» перекладки поршня (при дезаксаже в поршне) уменьшается шумность работы двигателя (происходит кривой перекося поршня).

Для подтверждения теоретических исследований был изготовлен экспериментальный двигатель с новым кривошипно-шатунным механизмом, имеющим дезаксаж в поршне. Ось поршневого пальца смещена относительно оси цилиндра на 5 мм ($k = 0,17$). Причем конструкция поршня позволяла иметь положительный дезаксаж в 5 мм ($k = 0,17$), а при повороте на 180 градусов – отрицательный в 5 мм ($k = -0,17$). Таким образом, после обкатки двигателя была возможность достоверно установить влияние положительного и отрицательного дезаксажа на технико-экономические показатели двигателя с одним и тем же поршнем с одинаковыми поршневыми кольцами.

На рис. 4 представлена зависимость мощности механических потерь от частоты вращения коленчатого вала двигателя.

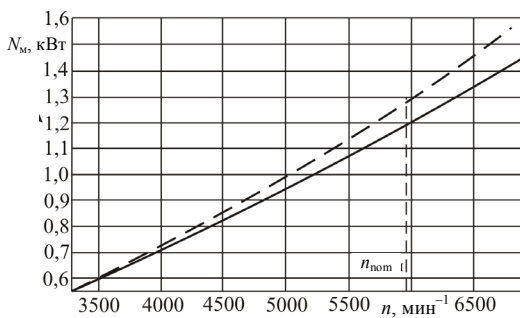


Рис. 4. Изменение мощности механических потерь: — — — — отрицательный дезаксаж; — — — — положительный

Как видно из рис. 4, мощность механических потерь N_m у двигателя с отрицательным дезаксажем выше, чем у двигателя с положительным дезаксажем.

На рис. 5 представлены скоростные характеристики экспериментального двигателя. Как показывает анализ характеристик, максимальная эффективная мощность у двигателя с положительным дезаксажем увеличивается на 5 %, а удельный эффективный расход топлива на режиме максимальной мощности снижается на 7 %. Причем данное снижение особенно характерно для диапазона частоты вращения от 4300 до 6500 мин^{-1} . При снижении частоты вращения ниже 4300 мин^{-1} , несмотря на меньшие механические потери, у двигателя с положительным дезаксажем удельный эффективный расход топлива возрастает. Объясняется этот факт тем, что потери горючей смеси в большей степени имеют место до перекрытия кромкой поршня продувочного окна.

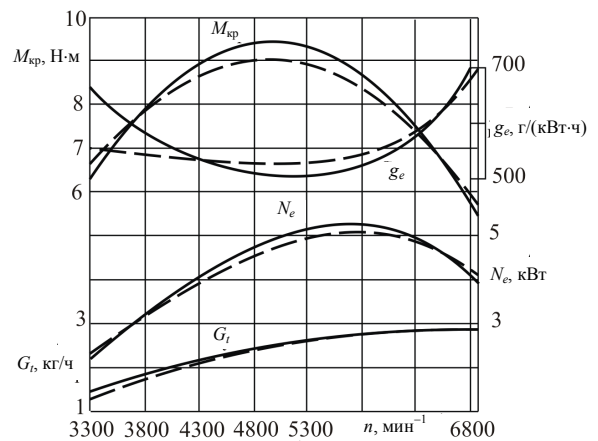


Рис. 5. Скоростные характеристики экспериментального двигателя ММВЗ 3.115 при положительном и отрицательном дезаксажах: — — — — отрицательный дезаксаж; — — — — положительный

Результаты испытаний показывают, что рост эффективной мощности произошел не только из-за снижения механических потерь в двигателе, но и из-за улучшения наполнения цилиндра, обусловленных меньшими утечками горючей смеси из цилиндра при продувке на номинальном режиме. Уменьшение критерия «время – сечение» от момента закрытия продувочного окна и до момента закрытия выпускного окна обеспечивает меньшие потери горючей смеси при продувке.

ВЫВОДЫ

На основании проведенных расчетных и экспериментальных исследований можно сделать следующие выводы.

1. Совместное влияние фактора уменьшения потерь горючей смеси в выпускное окно, а также уменьшение величины механических потерь при смещении поршневого пальца на 5 мм в сторону положительного дезаксажа уменьшают удельный эффективный расход топлива на 7 % по отношению к этому же двигателю, но имеющему такой же отрицательный дезаксаж.

2. Сам факт уменьшения выброса горючей смеси в выпускное окно позволяет констатировать, что уменьшаются вредные выбросы и улучшаются экологические показатели у такого типа двигателей.

3. У двухтактных двигателей с положительным дезаксажем улучшается процесс сгорания, который происходит в условиях, наиболее близких к условиям протекания процесса сгорания при постоянном объеме.

4. Применение положительного или отрицательного дезаксажа определяется назначением

двигателя и его условиями эксплуатации. В области номинальных оборотов следует применять положительный дезаксаж.

ЛИТЕРАТУРА

1. **Вершина, Г. А.** Методическое пособие по курсам «Теория рабочих процессов ДВС» и «Динамика ДВС» для студ. специальности Т 05.10.00 / Г. А. Вершина, Г. Я. Якубенко. – Минск: ЗАО «Техноперспектива», 2001. – 86 с.
2. **Двигатели** внутреннего сгорания: теория поршневых и комбинированных двигателей: учеб. / Д. Н. Вырубов [и др.]: под ред. А. С. Орлина, М. Г. Круглова. – 4-е изд., перераб. и доп. – М.: Машиностроение, 1983. – 372 с.
3. **Железко, Б. Е.** Основы теории и динамика автомобильных и тракторных двигателей / Б. Е. Железко. – Минск: Вышэйш. шк., 1980. – 303 с.
4. **Попык, К. Г.** Динамика автомобильных и тракторных двигателей: учеб. / К. Г. Попык. – 2-е изд. – М.: Выш. шк., 1970. – 328 с.
5. **Теория** двигателей внутреннего сгорания / под ред. Н. Х. Дьяченко. – Л.: Машиностроение, 1974. – 552 с.
6. **Двигатели** автомобильные. Методы стендовых испытаний: ГОСТ14846–81 / СТ СЭВ 765–77. – М.: Изд-во стандартов, 1988. – 68 с.

Поступила 04.01.2011