

УДК 531.8

ВИБРОУДАРНЫЕ НАГРУЗКИ В ПОРШНЕВОЙ ГРУППЕ ДВИГАТЕЛЕЙ НА ВОДОРОДЕ

© А.Л.Буров, В.В.Козляков

Московский государственный индустриальный университет, Россия, Москва

Аннотация. Силы давления газов и силы инерции, поступательно движущихся масс нагружают детали кривошипно-шатунного механизма, включая подшипники. Эти силы имеют динамический характер, то есть, периодически меняют свой знак и величину. В двигателях и, особенно на водороде, быстрое изменение сил давления газов часто приводит к резко выраженному ударному характеру приложения нагрузки. В данной работе излагается метод, предложенный проф. Б.А. Шароглазовым для определения скачка быстроты нарастания давления рабочего тела, применительно к поршневым двигателям на водородном топливе.

Ключевые слова: водородная энергетика на транспорте, возобновляемые энергоресурсы, кривошипно-шатунный механизм.

В настоящее время концепция водородной энергетике на транспорте базируется на том, что получение водорода возможно только за счет первичных источников энергии, в качестве которых рассматриваются возобновляемые энергоресурсы, атомная энергия и природные углеводородные топлива, где сырьем для его получения являются вода и природные углеводородные топлива. Водород обладает уникальными свойствами и использование его в качестве энергоносителя обеспечивает не только решение экологических проблем, но и повышение интегральной эффективности использования первичных энергоресурсов.

При оптимальном изменении в функции нагрузки доли добавляемого к бензину водорода обеспечивается качественное регулирование. Это достигается вследствие того, что водород обеспечивает широкие пределы воспламенения смеси, где верхний предел воспламенения соответствует коэффициенту избытка воздуха $\alpha = 0,15$, а нижний – $\alpha = 10$. Следует отметить, что применение водорода в чистом виде приводит к высоким скоростям распространения фронта пламени. Особенно в смесях близких к стехиометрическим смесям, т.е. при $\alpha = 1$. Это вызывает высокие скорости нарастания давления в цилиндре, высокие значения максимальных давлений и температур заряда, а также повышенные механические и тепловые нагрузки на детали двигателя. Величина нарастания давления в цилиндре при применении водорода с $\alpha = 1$ составляет $\left(\frac{dp}{d\varphi}\right)_{\max} = 0,966 \frac{\ddot{\gamma}\dot{\alpha}}{\ddot{\alpha}\dot{\alpha}\dot{\alpha}}$, что почти в три раза больше в случае применения бензина.

Силы давления газов и силы инерции, поступательно движущихся масс нагружают детали КШМ, включая подшипники. Эти силы имеют динамический характер, то есть, периодически меняют свой знак и величину. В двигателях и, особенно на водороде, быстрое изменение сил давления газов часто приводит к резко выраженному ударному характеру приложения нагрузки [1]. В данной работе излагается метод, предложенный проф. Б.А.

Шароглазовым для определения скачка быстроты нарастания давления рабочего тела, применительно к поршневым двигателям на водородном топливе.

Согласно утверждению И.И. Вибе угол опережения зажигания является оптимальным, если к моменту прихода поршня в ВМТ выгорает 30% топлива. Рассмотрим уравнение выгорания топлива, предложенное И.И. Вибе для охарактеризования кинетики цепных реакций процесса сгорания

$$x = 1 - e^{-C \cdot \left(\frac{\varphi}{\varphi_Z} \right)^{m+1}},$$

где C – постоянная Вибе, $C = -6,908$; φ – текущее значение угла процесса сгорания, отсчитываемого от начала сгорания, град ПКВ. Для определения угла опережения зажигания доля выгоревшего топлива $x = 0,3$, а текущий угол процесса сгорания $\varphi = \theta_{opt}$, так как рассматривается момент прихода поршня.

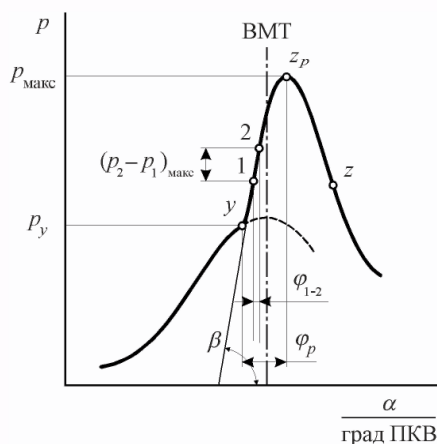


Рис. 1. Развернутая индикаторная диаграмма для определения численных значений средней и максимальной быстроты нарастания давления рабочего тела

Это вызывает в деталях повышение напряжений, а в подшипниках приводит к уменьшению толщины масляного слоя, что становится причиной их более быстрого износа. Таким образом, понижается надёжность и сокращается срок службы двигателя. Степень динамичности нагрузки зависит от быстроты нарастания давления газов в процессе сгорания и скачка давления газов, возникающего сразу после воспламенения топлива при малых значениях показателя характера сгорания.

Средняя быстрота нарастания давления (рис. 1) определяется по выражению

$$W_{PT} = \frac{p_{\text{max}} - p_y}{\varphi_p}, \text{ МПа/град ПКВ}$$

а максимальная быстрота нарастания давления

$$W_{P \text{ max}} = \text{tg} \beta = \frac{(p_2 - p_1)_{\text{max}}}{\varphi_{1-2}}, \text{ МПа/град ПКВ}$$

где β – максимальный угол наклона касательной, проведённой в соответствующей точке, лежащей на линии сгорания; $(p_2 - p_1)_{\text{max}}$ – наибольшее приращение давления на

расчётном участке линии сгорания; φ_{1-2} – шаг расчёта. Должны быть соблюдены следующие неравенства: для двигателей с внешним смесеобразованием $W_{\text{рmax}} < 0,2$ МПа/град ПКВ и для двигателей с внутренним смесеобразованием $W_{\text{рmax}} < 0,5$ МПа/град ПКВ.

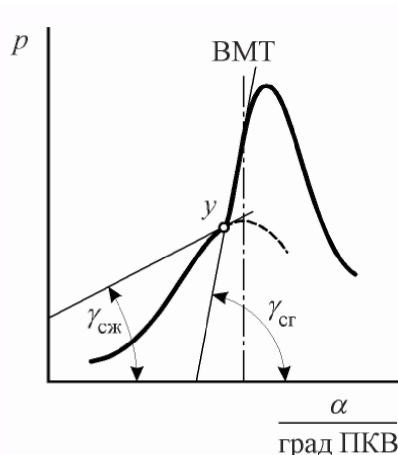


Рис. 2. Развернутая индикаторная диаграмма для определения скачка быстроты нарастания давления рабочего тела

Скачок быстроты нарастания давления (рис. 2), определяется по формулам (1) и (2)

$$\Delta W_P = \left(\frac{dp}{d\alpha} \right)_{\tilde{N}\tilde{A}} - \left(\frac{dp}{d\alpha} \right)_{\tilde{N}\tilde{E}} = \text{tg}\gamma_{\tilde{N}\tilde{A}} - \text{tg}\gamma_{\tilde{N}\tilde{E}} \quad (1)$$

$$\Delta W_P = \left(\frac{\Delta p}{\Delta\alpha} \right)_{\tilde{N}\tilde{A}} - \left(\frac{\Delta p}{\Delta\alpha} \right)_{\tilde{N}\tilde{E}} \quad (2)$$

В момент скачка происходит динамический удар. Исследования показывают, что величина скачка нарастания давления рабочего тела определяется, главным образом, показателем характера сгорания m .

Влияние параметра m на быстроту и скачок нарастания давления (рис.3) показывает, что при $m = 1,5$ ΔW_P в 27 раз меньше, чем при $m = 0$.

Благодаря малой энергии воспламенения водорода равной 0,02 МДж вместо 0,25 МДж в случае бензина может наблюдаться преждевременное воспламенение водородовоздушной смеси от горячих поверхностей и тлеющих частиц. В качестве решения предлагается постепенное повышение доли водорода в смеси по мере уменьшения нагрузки. Итак, применение водорода позволит радикально снизить токсичность ДВС за счет уменьшения выбросов продуктов неполного окисления. Повышению экономичности способствует более полное и своевременное горение благодаря высокой диффузионной активности водорода и малому расстоянию от стенки гашения пламени.

Влияние параметра m на быстроту и скачок нарастания давления

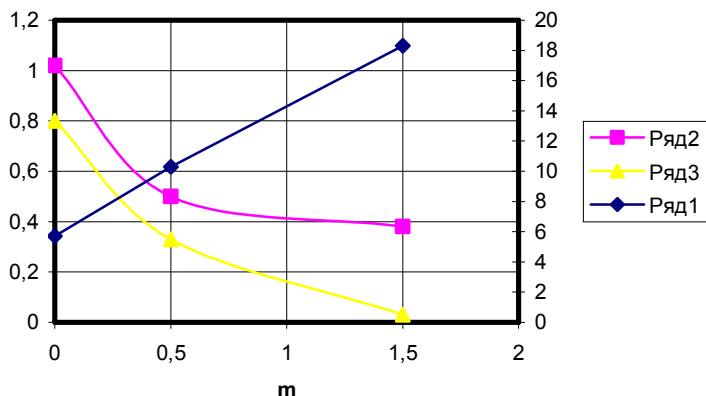


Рис. 3. Ряд 1 - θ_{opt} ; Ряд 2 - W_{max} ; Ряд 3 - ΔW_p

Литература

1. Козляков В.В., Синев А.В., Хайдакин М.С. Поршневые двигатели на водороде с уравнивающими валами. – Сборник трудов XV симпозиума «Динамика виброударных (сильно нелинейных) систем. Москва – Звенигород. ИМАШ РАН. 17 – 23 сентября 2006. – С. 142 - 146.

Поступила: 20.06.09.