

ВЛИЯНИЕ РАЗЛИЧНЫХ ФАКТОРОВ НА КОЭФФИЦИЕНТ НАПОЛНЕНИЯ ПОРШНЕВОГО ДВИГАТЕЛЯ

© 2007 Ю. Л. Ковылов, Д. А. Угланов

Самарский государственный аэрокосмический университет

Предлагается наряду с известными формулами для вычисления использовать новое выражение, хорошо иллюстрирующее влияние различных факторов на протекание процесса наполнения.

Известны факторы, влияющие на заполнение цилиндра поршневого двигателя свежим зарядом, и их влияние на величину коэффициента наполнения

$$h_v = \frac{M_{сз}}{M_T},$$

характеризующего качество этого процесса.

Здесь $M_{сз}$ - масса свежего заряда, поступившего в цилиндр в процессе наполнения; M_T - масса свежего заряда, которая могла бы теоретически заполнить рабочий объем цилиндра V_h . Основными влияющими факторами являются:

- Степень сжатия - e ;
- Параметры свежего заряда на входе в цилиндр - P_k, T_k (наддув);
- Дозарядка за счет инерционности потока во впускном клапане - $j_{доз}$;
- Параметры остаточных газов в конце такта выпуска - P_r, T_r, g_r ;
- Параметры свежего заряда в конце такта наполнения - P_a, T_a ;
- Подогрев свежего заряда в цилиндре - DT ;
- Гидравлическое сопротивление впускной системы - DP_a ;
- Гидравлическое сопротивление выпускной системы - DP_r ;
- Очистка цилиндра за счет продувки - $j_{оч}$;
- Соотношение теплоемкостей остаточных газов и свежего заряда - j' .

В учебной литературе различного времени издания и разных научных школ [1...6] комбинации перечисленных факторов в пред-

лагаемых формулах для расчета величины коэффициента наполнения заметно отличаются друг от друга.

Так, в учебниках, написанных в МГТУ им. Баумана, МАДИ (ТУ), СПб ТУ, а это, как известно, ведущие научные школы в России по специальности «Двигатели внутреннего сгорания», приводятся расчетные формулы

$$h_v = j_{доз} \cdot \frac{e}{e-1} \cdot \frac{P_a}{P_k} \cdot \frac{T_k}{T_k + DT + j' \cdot g_r \cdot T_r}, \quad (1)$$

$$h_v = j_{доз} \cdot \frac{e}{e-1} \cdot \frac{P_a}{P_k} \cdot \frac{T_k}{T_k + DT + j' \cdot j_{доз} \cdot g_r \cdot T_r}, \quad (2)$$

и (только для четырехтактных ДВС)

$$h_v = j_{доз} \cdot \frac{e}{e-1} \cdot \frac{T_k}{T_k + DT} \cdot \frac{P_a}{P_k} \cdot \left(1 - \frac{P_r \cdot j' \cdot j_{оч}}{e \cdot P_a} \right), \quad (3)$$

$$h_v = j_{доз} \cdot \frac{e}{e-1} \cdot \frac{T_k}{T_k + DT} \cdot \frac{P_a}{P_k} \cdot \left(1 - \frac{P_r \cdot j' \cdot j_{оч}}{e \cdot j_{доз} \cdot P_a} \right). \quad (4)$$

В учебных пособиях, где излагается методика и алгоритм теплового расчета ДВС, встречаются как указанные формулы (пособия, разработанные в МАДИ и в МАИ), так и отличающиеся от них. Например, в пособиях [5, 6] коэффициент наполнения предлагается рассчитывать так:

$$h_v = \frac{T_\kappa}{T_\kappa + DT} \cdot \frac{1}{e - 1} \cdot \frac{1}{P_\kappa} \cdot (j_{\text{доз}} \cdot e \cdot P_a - j_{\text{оч}} \cdot P_r). \quad (5)$$

При подстановке в (1) выражения для коэффициента остаточных газов

$$g_r = \frac{T_\kappa + DT}{T_r} \cdot \frac{j_{\text{оч}} \cdot P_r}{j_{\text{доз}} \cdot e \cdot P_a - j_{\text{оч}} \cdot P_r}$$

можно получить формулу (5), что дает основания считать их идентичными, но без учета коэффициента j' .

Формулы (5) и (3) практически совпадают, если в (5) вынести за скобку произведение $j_{\text{доз}} \cdot e \cdot P_a$, но остается различие в комбинации коэффициентов $j_{\text{доз}}$, $j_{\text{оч}}$ и j' .

В результате использование этих выражений для изучения влияния различных факторов на процесс наполнения цилиндра свежим зарядом и для непосредственного расчета величины h_v встречает ряд затруднений, изложенных ниже.

Так, расчет по формулам (1...5) дает разные значения h_v . Используя величины параметров, входящих в формулы, из примера расчета бензинового двигателя в широко распространенном пособии [5]:

$$e = 8,5; T_\kappa = 293 \text{ K}; P_\kappa = 0,1013 \text{ МПа}; \Delta T = 8 \text{ K}; T_a = 337 \text{ K}; T_r = 1060 \text{ K}; j_{\text{доз}} = 1,1; j_{\text{оч}} = 1; P_r = 0,118 \text{ МПа}; P_a = 0,0863 \text{ МПа}; g_r = 0,0495,$$

можно показать, что (при $j' = 1,162$ из [2])

$$\text{по формуле (1) } h_v = 0,8597,$$

$$\text{по формуле (2) } h_v = 0,8455,$$

$$\text{по формуле (3) } h_v = 0,8406,$$

$$\text{по формуле (4) } h_v = 0,8582,$$

$$\text{по формуле (5) } h_v = 0,8826.$$

Разброс значений составляет примерно 5%. Можно считать его незначительным, но он требует объяснений.

Кроме того, структура перечисленных выражений имеет некоторые противоречия с физическим смыслом, которые всегда сложно обходить в учебном процессе.

Если в соотношении

$$h_v = \frac{M_{c3}}{M_T}$$

массу теоретического заряда рассчитывать по плотности действительного заряда на входе в двигатель (как и M_{c3})

$$M_T = r_\kappa \cdot V_h$$

и принять, что свежий заряд заполнил весь объем цилиндра V_a , то получится выражение

$$h_v = \frac{e}{e - 1} \quad (6)$$

для предельно возможного значения коэффициента наполнения $h_{v, \text{пред}}$.

Учитывая этот результат, на первый взгляд может показаться, что формулы (1) и (2) позволяют получить значение $h_v > h_{v, \text{пред}}$. Это не может не вызывать вопросы, особенно у вновь изучающих процессы в ДВС. Во всех показанных формулах параметр P_κ , отражающий наличие и величину наддува двигателя, располагается в знаменателе, что может навести на мысль об обратной зависимости h_v от этого фактора, хотя это и противоречит физическому смыслу процесса.

В связи с изложенным предлагается для объяснения влияния различных факторов на величину коэффициента h_v (но не для расчета его величины) принять, что в конце такта наполнения его можно представить как соотношение объема свежего заряда V_{c3} , поступившего в цилиндр, и рабочего объема цилиндра V_h , т.е.

$$h_{Va} = \frac{V_{c3}}{V_h}.$$

Так же, как это было принято в полученном выше выражении для $h_{v, \text{пред}}$. С учетом дозарядки

$$h_v = h_{Va} \cdot j_{\text{доз}}.$$

Тогда, сравнивая параметры остаточных газов в конце такта выпуска (без учета продувки цилиндра во время перекрытия клапанов)

$$P_r \cdot V_c = 8314,3 \cdot T_r \cdot M_r$$

и в конце такта наполнения

$$P_a \cdot V_{oz} = 8314,3 \cdot T_a \cdot M_r ,$$

можно получить следующее выражение для объема остаточных газов, который «мешает» объему свежего заряда V_{c3} заполнить весь объем цилиндра V_a ,

$$V_{oz} = \frac{P_r \cdot T_a}{P_a \cdot T_r} \cdot V_c . \quad (8)$$

Здесь M_r – количество молей остаточных газов, V_c – объем камеры сгорания.

Поскольку в нижней мертвой точке, т.е. в конце такта наполнения

$$V_a = V_{c3} + V_{oz} , \quad (9)$$

то, используя формулы (7) и (8), можно записать

$$V_a = V_h \cdot h_{Va} + \frac{P_r \cdot T_a}{T_r \cdot P_a} \cdot V_c ,$$

или поделив на V_c

$$e = (e - 1) \cdot h_{Va} + \frac{P_r \cdot T_a}{P_a \cdot T_r} .$$

Отсюда с учетом дозарядки

$$h_v = j_{оз} \cdot \left(h_{vпред} - \frac{1}{e - 1} \cdot \frac{P_H + DP_r}{P_k - DP_a} \cdot \frac{T_a}{T_r} \right) . \quad (10)$$

Эта формула не противоречит физическому смыслу, поскольку получена из соотношения объемов V_{c3} , V_a , V_h и V_{oz} , на основе которых и формируется понятие *коэффициента наполнения*. Ее структура также непротиворечива, поскольку соответствует традиционной логике изучения тех или иных процессов: «результат идеального протекания процесса минус какие-либо потери».

Анализ формулы (10) помогает яснее представить суть влияния на коэффициент h_v различных факторов, перечисленных в начале статьи:

1. Дозарядка ($j_{оз}$), если она происходит, положительно влияет на h_v , поскольку позволяет хотя бы частично скомпенсировать

неизбежные потери (см. второй член в скобках).

2. Чем выше степень сжатия (e) при прочих равных условиях, тем меньше относительная величина объема камеры сгорания V_c , тем меньше относительный объем остаточных газов V_{oz} (см. формулу (8)), т. е. возрастает относительный объем свежего заряда (см. (9)) и коэффициент наполнения.

3. Если выпуск отработавших газов осуществлять в вакуум ($P_H = 0$), то при отсутствии гидравлического сопротивления выпускной системы ($DP_r = 0$) коэффициент наполнения достигнет своей предельной величины.

4. Чем выше гидравлическое сопротивление выпускной (DP_r) и впускной (DP_a) систем, тем ниже коэффициент наполнения.

5. Чем выше наддув (чем более P_k) двигателя, тем выше коэффициент наполнения. Но следует помнить, что с ростом P_k увеличивается и температура воздуха за агрегатом наддува T_k , что ведет к росту температуры T_a и к снижению коэффициента наполнения. Видимо, по этим двум показателям следует искать оптимум.

6. Чем выше температура T_a газов в цилиндре в конце такта наполнения, тем больший объем займут остаточные газы (см. формулу (8)), следовательно, уменьшится объем, занимаемый свежим зарядом, т.е. снизится h_v .

7. Чем выше температура остаточных газов T_r в конце такта выпуска, тем меньше количество молей остаточных газов в объеме V_c , следовательно и меньше их объем (V_{oz}) в конце такта наполнения, т.е. больше объем V_{c3} , выше коэффициент наполнения.

Таким образом, предлагаемая формула (10) позволяет достаточно четко проиллюстрировать влияние различных факторов на коэффициент наполнения h_v , т.е. на мощность, развиваемую поршневым двигателем.

Список литературы

1. Двигатели внутреннего сгорания. Теория поршневых и комбинированных двигателей / Под ред. А. С. Орлина, М. Г. Круглова. - М.: Машиностроение, 1983. - 400 с.

2. Теория двигателей внутреннего сгорания / Под ред. проф. д-ра техн. наук

Н. Х. Дьяченко. - Л.: Машиностроение (Ленинград. отд-ние), 1974. - 552 с.

3. Двигатели внутреннего сгорания. В 3 кн. Кн. 1. Теория рабочих процессов: Учеб./ Луканин В. Н., Морозов К. А., Хачиян А. С. и др.; Под ред. В.Н. Луканина. – М.: Высш. шк., 1995. – 368 с.

4. В. К. Кошкин, Н. А. Лапушкин. Расчет быстроходных двигателей внутреннего сгорания/ Под ред. В. К. Кошкина. - М.:

Гособоронгиз, 1952. - 250 с.

5. Расчет автомобильных и тракторных двигателей: Учебн. пособие для вузов./ А. И. Колчин, В. П. Демидов – 3-е изд. перераб. и доп. – М.: Высш. шк., 2002. – 496 с.

6. В. Г. Кадышев, С. В. Тиунов. Расчет рабочего процесса поршневых и комбинированных автотракторных двигателей / Учебное пособие. - Набережные Челны: КамГПИ, 2002. – 62 с.