

Таблица 2. Сопоставление эксплуатационной эффективности двигателей с циклами Отто и Миллера при испытаниях по 13-ступенчатому циклу

№ режима	Частота вращения, (кратность q_p)	“Вес” режима k_p	Относит. нагрузка $P_L, \%$	Эффект. работа $L_{e(s,m)}, \text{Дж}$	$h_{p,m}$	$Q_{1,m}, \text{Дж}$	$Q^*_{1,m}$ с учётом режима, Дж	$h_{p,s}$	$Q_{1,s}, \text{Дж}$	$Q^*_{1,s}$ с учётом режима, Дж
1,7,13	$n_{xx \min}$ (1)	0,0833	0	0	0,031	38,0	9,5	0,15	183	45,7
2	n_{Mmax} (2)	0,08	10	60	0,135	165	26,4	0,242	295	47,2
3	n_{Mmax} (2)	0,08	25	140	0,274	334	53,4	0,363	443	70,9
4	n_{Mmax} (2)	0,08	50	280	0,516	629	100,6	0,576	702	112,3
5	n_{Mmax} (2)	0,08	75	419	0,757	923	147,7	0,787	959	153,4
6	n_{Mmax} (2)	0,25	100	559	1,0	1219	609,5	1,0	1219	609,5
8	$n_{НОМ}$ (3)	0,10	100	559	1,0	1219	365,7	1,0	1219	365,7
9	$n_{НОМ}$ (3)	0,02	75	419	0,757	923	55,4	0,787	959	57,5
10	$n_{НОМ}$ (3)	0,02	50	280	0,516	629	37,7	0,576	702	42,1
11	$n_{НОМ}$ (3)	0,02	25	140	0,279	334	20	0,363	443	26,7
12	$n_{НОМ}$ (3)	0,02	10	60	0,135	165	9,9	0,242	295	17,7
Σ		1,00					$Q_{13,m} = 1435,8$		$Q_{13,s} = 1548,7$	

Литература:

1. Miller, R.H. Supercharging and Internal Cooling Cycle for High Output, ASME Transactions, Vol. 69, 1947, P. 453-457.
2. Atkinson J. Gas Engine / US Patent No 367496, Issue Date: August 2, 1887
3. Гусаков С.В. Гибридные силовые установки на основе ДВС: Учебное пособие. - Изд-во РУДН, 2008, 207 с.
4. Гусаков С.В., Патрахальцев Н.Н. Планирование, проведение и обработка данных экспериментальных исследований двигателей внутреннего сгорания: Учебное пособие. – М.: Изд-во РУДН, 2004, 167 с.

РАСЧЁТНОЕ ИССЛЕДОВАНИЕ ПРИМЕНИМОСТИ СВЕРХВЫСОКОЙ СТЕПЕНИ СЖАТИЯ С ПОДВОДОМ ТЕПЛОТЫ В НАЧАЛЕ ТАКТА РАСШИРЕНИЯ РАБОЧЕГО ЦИКЛА ДВИГАТЕЛЕЙ ВНУТРЕННЕГО СГОРАНИЯ

Коломиец П.В., Ложкин М.Н. (Тольяттинский государственный университет)

Предварительное сжатие рабочего тела, как способ повышения эффективности работы ДВС, имеет большое значение для всех типов двигателей. Известно, что чем выше степень сжатия, тем меньше необходимо количества топлива для получения единицы мощности. Поэтому, для достижения высоких эффективных показателей возникает необходимость повышения степени сжатия, однако для дизель-

ных ДВС данное увеличение ограничивается механическими нагрузками на детали КШМ, а для бензиновых ДВС - ещё и детонационным сгоранием.

Использование высокой (до 24 ед.) и сверхвысокой (более 24 ед.) степени сжатия применительно к любому типу ДВС становится возможным при подводе теплоты к рабочему телу в начале такта расширения. В этом случае, в двигателях со сверхвысокими степенями сжатия температура и давление в момент подвода теплоты значительно превышают пределы самовоспламенения, как дизельного топлива, так и бензинов. Это приводит к сокращению периода задержки самовоспламенения топлива и создаёт возможность воспламенения бензинов не электрической искрой, а также самовоспламенением, тем самым создавая условия работы двигателя на различных видах топлива.

Таким образом, пределы увеличения степени сжатия в предлагаемом способе работы ДВС ограничиваются только техническими возможностями, такими как обеспечение стабилизации надпоршневого зазора и размерной цепи всех звеньев КШМ.

В процессе исследования проведены тепловые расчёты четырёхтактных четырёхцилиндровых бензиновых двигателей номинальной мощностью $N_e = 60$ кВт, $n = 4800 \text{ min}^{-1}$, степень сжатия $\epsilon = 34,5$ с коэффициентом избытка воздуха $\alpha = 1,7$, при запаздывании впрыска топлива $\theta_{впр} = 2^\circ$ пкв после ВМТ; $N_e = 60$ кВт, $n = 4500 \text{ min}^{-1}$, степень сжатия $\epsilon = 30$ с коэффициентом избытка воздуха $\alpha = 1,6$, при двух моментах впрыска топлива $\theta_{впр} = 2^\circ$ пкв после ВМТ и $\theta_{впр} = 20^\circ$ пкв до ВМТ; четырёхтактного четырёхцилиндрового дизельного двигателя номинальной мощностью $N_e = 45$ кВт, $n = 4500 \text{ min}^{-1}$, степень сжатия $\epsilon = 25$ с коэффициентом избытка воздуха $\alpha = 1,6$, при запаздывании впрыска топлива $\theta_{впр} = 1^\circ$ пкв после ВМТ по методике И.И. Вибе [1]. При расчёте процесса смесеобразования для улучшения его эффективности с целью достижения наиболее полного сгорания в процессе расширения учитывалось наличие вихревой камеры сгорания с интенсивными завихрителями в днище поршня (авт.св. SU 1321868).

В проведённых расчётах показатель характера сгорания «m» и продолжительность сгорания ϕ_z^0 выбирались из условий наибольших значений индикаторного

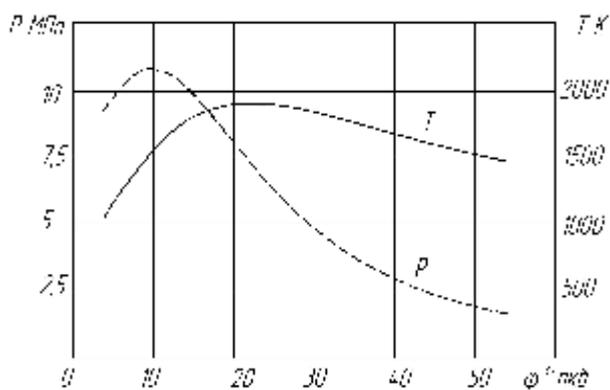


Рис. 1. Расчётные давление и температура при угле впрыска $\theta_{впр} = 2^\circ$ пкв после ВМТ, $\epsilon = 30$

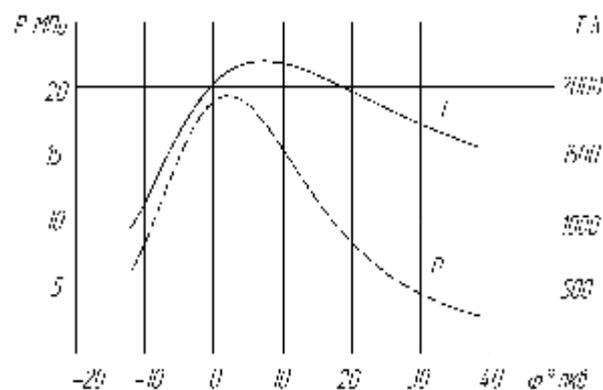


Рис. 2. Расчётные давление и температура при угле впрыска $\theta_{впр} = 20^\circ$ пкв до ВМТ, $\epsilon = 30$

КПД η_i и среднего индикаторного давления P_i при наименьших значениях давления сгорания P_z^{\max} и скорости нарастания давления $\frac{dp}{dj}$.

Для определения среднего индикаторного давления P_i индикаторная работа цикла L_i рассчитывалась графическим методом трапеций в пределах интегрирова-

ния от момента закрытия впускных клапанов до момента открытия выпускных клапанов в соответствии с выбранными фазами газораспределения двигателя типа ВАЗ.

Расчёт процесса сгорания проводился по методике [1] в интервале от начала воспламенения до конца сгорания с шагом в 1° пкв. В результате определено максимальное давление $P_z^{\max} = 11,93$ МПа и температура $T_z^{\max} = 1879$ К процесса сгорания при впрыске $\theta_{\text{впр}} = 2^\circ$ пкв после ВМТ при $\epsilon = 34,5$, при $\epsilon = 30$ - $P_z^{\max} = 10,8$ МПа, $T_z^{\max} = 1815$ К (рис.1). При впрыске топлива до ВМТ равном $\theta_{\text{впр}} = 20^\circ$ пкв при $\epsilon = 30$ получены следующие значения параметров: $P_z^{\max} = 19,75$ МПа, $T_z^{\max} = 2183$ К(рис.2).

При положении поршня в ВМТ определены следующие значения давления и температуры сгорания при впрыске $\theta_{\text{впр}} = 2^\circ$ пкв после ВМТ при $\epsilon = 34,5$, $P_z^{\max} = 10,85$ МПа, $T_z^{\max} = 1117$ К, при $\epsilon = 30$ и $\theta_{\text{впр}} = 2^\circ$ пкв после ВМТ - $P_z^{\max} = 9,25$ МПа, $T_z^{\max} = 1053$ К. При $\epsilon = 30$, $\theta_{\text{впр}} = 20^\circ$ пкв до ВМТ значения параметров составляет $P_z^{\max} = 18,92$ МПа, $T_z^{\max} = 2071$ К.

Из приведённых данных следует, что впрыск топлива после ВМТ в начале процесса расширения снижает механическую и тепловую напряженность рабочего цикла ДВС по сравнению с традиционным двигателем, в котором впрыск топлива осуществляется до ВМТ при одинаково высокой степени сжатия.

Оценка периода задержки самовоспламенения осуществлялась по полуэмпирическому выражению предложенным А.И. Толстовым [2]. Для двигателя со степенью сжатия $\epsilon = 34,5$ и $\theta_{\text{впр}} = 2^\circ$ пкв после ВМТ период задержки воспламенения составляет $\tau_i = 5,13 \cdot 10^{-5}$ с или $\phi_i = 1,5^\circ$ пкв; для двигателя со степенью сжатия $\epsilon = 30$ и $\theta_{\text{впр}} = 2^\circ$ пкв после ВМТ период задержки воспламенения составляет $\tau_i = 7 \cdot 10^{-5}$ с или $\phi_i = 2^\circ$ пкв; для двигателя со степенью сжатия $\epsilon = 30$ и $\theta_{\text{впр}} = 20^\circ$ пкв до ВМТ период задержки воспламенения составляет $\tau_i = 31 \cdot 10^{-5}$ с или $\phi_i = 8^\circ$ пкв.

Из представленных результатов расчёта следует, что более высокая температура сжатого воздуха к началу подачи топлива при $\theta_{\text{впр}} = 2^\circ$ пкв после ВМТ значительно сокращает период задержки воспламенения.

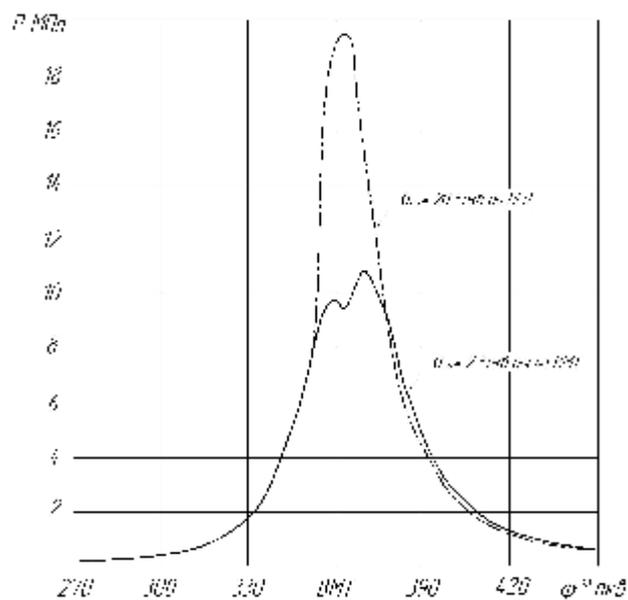


Рис. 3. Влияние угла впрыска топлива на характер изменения индикаторного давления

Проведённый в настоящем исследовании расчёт характеристики тепловыделения по методикам И.И. Вибе, а также Н.В. Иноземцева и В.К. Кошкина [3] показал, что полное сгорание топлива, впрыснутого в начале процесса расширения в ДВС со сверхвысокой степенью сжатия возможно в течение времени соответствующего $\phi_z = 50^\circ$ пкв, т.е. до открытия выпускных клапанов.

Далее по известной методике [4] нами выполнена оценка пусковых качеств рассмотренных двигателей, где определены давление и температура конца процесса сжатия, сопротивление двигателя прокручиванию и мощность электростартера равной $N_{\text{ст}} = 1,5$ кВт при холодном пуске.

По проведённому анализу эффективных показателей можно сделать вывод, о том, что повышение степени сжатия до сверхвысоких величин с подводом тепла в начале процесса расширения приводит к существенному их улучшению. Так, например, для двигателя мощностью $N_e = 60$ кВт, $n = 4800 \text{ min}^{-1}$, степень сжатия $\epsilon = 34,5$ работающего на составе ТВС $\alpha = 1,7$ расчётным путём получены следующие показатели работы двигателя: среднее эффективное давление $P_e = 0,909$ МПа, эффективный КПД составил $\eta_e = 0,52$, удельный эффективный расход топлива $g_e = 157,6$ г/кВт·ч, которые значительно превышают эффективные показатели в выполненных конструкциях современных автотракторных двигателей.

Обращаясь к техническому обоснованию применимости сверхвысокой степени сжатия с подводом тепла в начале процесса расширения необходимо отметить, что в предлагаемом рабочем цикле воспламенение ТВС происходит по промежуточной схеме между высокотемпературным одностадийным воспламенением характерным для ДВС с принудительным зажиганием и низкотемпературным многостадийным свойственным дизельным ДВС. В предлагаемой схеме воспламенения повышенная температура воздуха значительно превышающая температуру самовоспламенения бензина ($t_{\text{самвосп}} = 330-470$ °С) и дизельного топлива ($t_{\text{самвосп}} = 310-345$ °С) делает возможным разрыв внутримолекулярных связей в молекуле топлива и образование активных радикалов со свободной валентностью, которые могут непосредственно взаимодействовать с молекулой кислорода. Наряду с быстрым испарением, воспламенением и сгоранием капель топлива, образующих факел, происходит процесс распространения пламени из очагов воспламенения в соседние зоны камеры сгорания. При этом предполагается впрыск всей дозы топлива за период, равный около 20 % всей продолжительности сгорания.

Результаты расчётного исследования показали, что впрыск топлива в начале процесса расширения без постороннего зажигания при сверхвысокой степени сжатия, верхней предел которой обусловлен прочностными соображениями, во-первых, значительно улучшает показатели ДВС, а короткий период самовоспламенения позволяет применять топливо широкого фракционного состава с впрыском всей дозы топлива в начале расширения под высоким давлением $P_{\text{впр}} = 150-200$ МПа; во-вторых, максимальное давление P_z^{max} , температура T_z^{max} и скорость нарастания давления снижаются более чем в два раза по сравнению с двигателями в которых подвод теплоты осуществляется традиционно; в третьих, повышать степень сжатия более 35 не рационально по причине чрезмерной механической нагруженности деталей КШМ.

Работа выполнена при поддержке федеральной целевой программы «Научные и научно-педагогические кадры инновационной России» на 2009-2013 г. (ГК № П 1557).

Литература:

1. Вибе И.И. Новое о рабочем цикле двигателей– М.: Машгиз, 1962. – с. 270с.
2. Шароглазов Б.А. Двигатели внутреннего сгорания: теория, моделирование и расчёт процессов/ Б.А. Шароглазов, М.Ф. Фарафонов, В.В. Клементьев Под ред. Б.А. Шароглазова. Челябинск: Изд-во ЮУрГУ, 2006.-382с.
3. Иноземцев Н.В., Кошкин В.К. Процессы сгорания в двигателях. – М.: Машгиз, 1949. – с. 209
4. Взоров Б.А. Тракторные дизели: Справочник / Б.А. Взоров, А.В. Адамович, А.Г. Арабян Под ред. Н.И. Взорова. М.: Машиностроение, 1981.- 535с.