

ВЛИЯНИЕ ДРОССЕЛИРОВАНИЯ НА СГОРАНИЕ В МАЛОЛИТРАЖНОМ КАРБЮРАТОРНОМ ДВИГАТЕЛЕ

А. С. ЦЕХАНОВ

(Представлено проф. докт. техн. наук В. К. Нечаевым)

Для выяснения характера изменения индикаторной экономичности двигателя большое значение приобретает изучение процесса сгорания. Поэтому, не случайно уделяется ему особое внимание. Но исследования [5, 8] и др. по этому вопросу касаются двигателей большого литража и режимов работы при полном открытии дроссельной заслонки. Ниже излагаются некоторые результаты экспериментального исследования влияния дросселирования на сгорание в малолитражном карбюраторном двигателе, выполненного автором настоящей статьи в лаборатории двигателей внутреннего сгорания Томского политехнического института под руководством профессора Нечаева В. К.

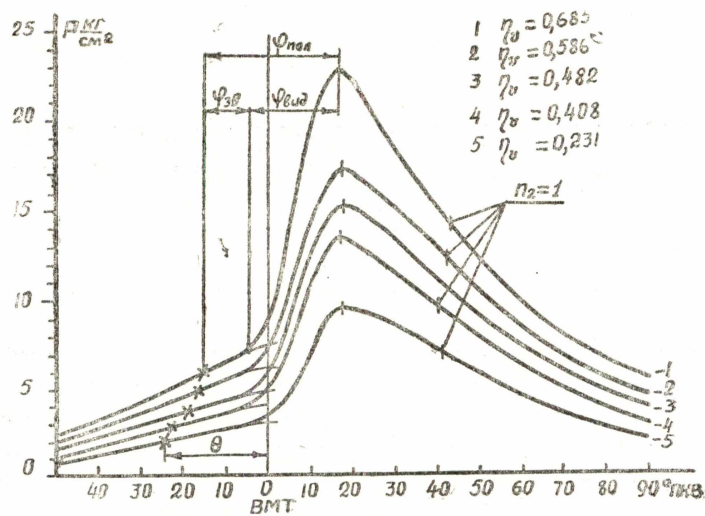
Эксперименты проводились на двухцилиндровом двигателе Л6/3 [1], нижнеклапанном, с камерой сгорания типа Рикардо, диаметр цилиндра 65 мм, ход поршня 90 мм, степень сжатия 5,26 и работающем на балансирующую динамомашину постоянного тока.

Индицирование двигателя проводилось пневмоэлектрическим индикатором с электронным искрообразователем и пьезоэлектрическим индикатором с записью на шлейфовый осциллограф. Исследование проводилось как при наивыгоднейшем переменном опережении зажигания, так и при постоянном, подобранном оптимальным для полного открытия дроссельной заслонки.

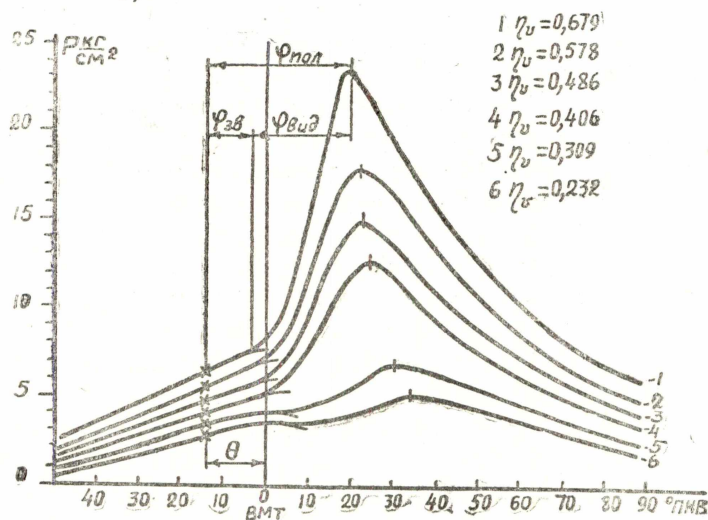
Продолжительность фаз сгорания определялась по индикаторным диаграммам в градусах поворота коленчатого вала. Коэффициент выделения тепла подсчитывался по Мазингу Е. К. [2]. Все описываемые ниже результаты экспериментов относятся к работе двигателя по нагрузочной характеристике при постоянном числе оборотов $n = 1500$ об/мин.

Исследование индикаторных диаграмм дросселируемого двигателя для смесей от $\alpha = 0,5$ до $\alpha = 1,2$ показывает, что при установке наивыгоднейшего переменного опережения зажигания начало периода видимого сгорания (по моменту отрыва линии сгорания от линии сжатия на индикаторной диаграмме, фиг. 1а) приходится на $4-7^\circ$ до ВМТ; конец сгорания, по максимуму давления [11], приходится на $15-19^\circ$ после ВМТ. Точка максимального давления цикла принята за конец сгорания, так как к этому моменту фронт пламени проходит всю камеру сгорания, достигая ее крайних точек [5, 9, 10]. Таким образом,

а)



б)



Фиг. 1. Влияние дросселирования на фазы сгорания, $\alpha = 1,07$; а) наивыгоднейшее переменное опережение зажигания; б) постоянное опережение зажигания.

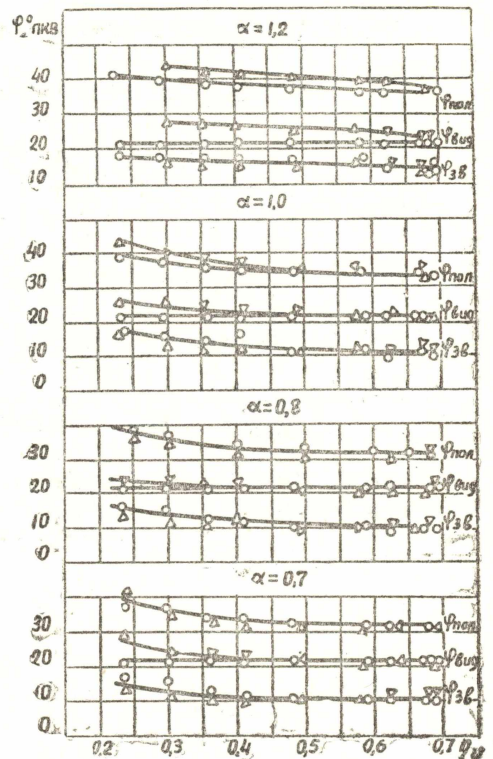
продолжительность периода видимого сгорания $\varphi_{\text{вид}}$ при дросселировании сохраняется постоянной (фиг. 2) почти до самых пределов воспламеняемости указанных выше составов смеси. Независимость продолжительности периода $\varphi_{\text{вид}}$ от физико-химических свойств смеси (состав смеси и остаточные газы) можно объяснить образованием турбулентного фронта пламени [3, 4], в котором, вследствие сильного раздробления поверхности пламени турбулентными пульсациями, скорость пламени определяется массовой скоростью горения смеси по всему ее объему.

Неизменность продолжительности периода $\varphi_{\text{вид}}$ дает нам основание считать, что увеличение доли остаточных газов в рабочей смеси не оказывает влияние на скорость турбулентного сгорания. По мнению Соколика А. С. [6], остаточные газы при дросселировании двигателя не оказывают влияние на скорость турбулентного сгорания, но влияют на скорость химического горения, т. е. на тепловыделение. Однако при дросселировании двигателя Л6/3 до $\eta_v = 0,4$, несмотря на несомненный рост доли остаточных газов в смеси, ухудшения полноты сгорания не наблюдалось. Наоборот, коэффициент выделения тепла ξ_z несколько возрастал (фиг. 3). Этому, наряду с турбулентным фактором, способствует, видимо, высокая температура остаточных газов.

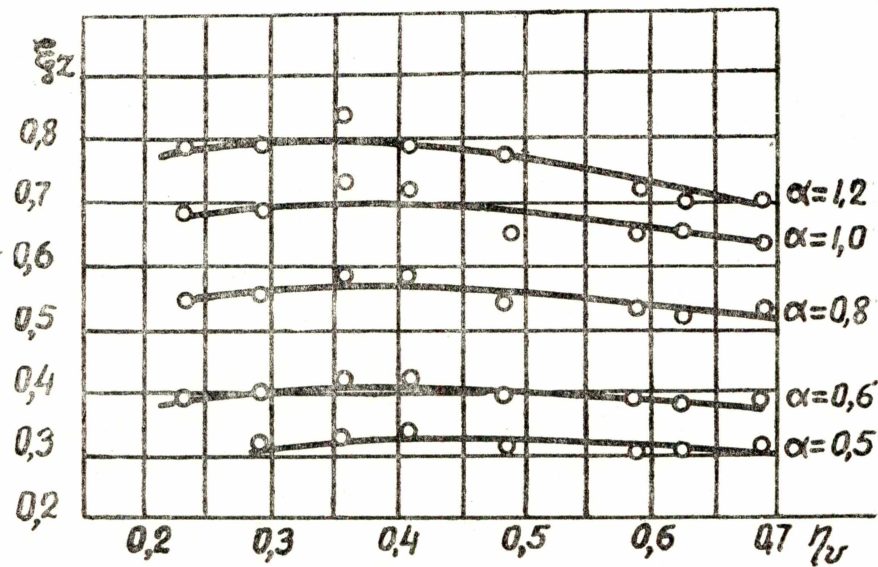
Значения ξ_z , представленные на фиг. 3, для богатых смесей включают неполноту сгорания из-за недостатка кислорода.

Остаточные газы при увеличении их содержания в смеси быстрее прогревают последнюю по всему ее объему, обеспечивая тем самым, при интенсивном турбулентном движении горящих газов, хорошее сгорание как богатых, так и бедных смесей, чем объясняется устойчивая работа двигателя при дросселировании. Последнее подтверждается также отсутствием в наших опытах неполноценных и пропущенных циклов на осциллограммах непрерывной записи давлений в цилиндре двигателя (фиг. 4), снятых на отмеченных выше режимах. Из фиг. 4 видно, что разброс давлений вспышки p_z от цикла к циклу почти одинаков, при равных коэффициентах наполнения как для богатой смеси $\alpha = 0,8-0,9$, так и бедной $\alpha = 1,2$.

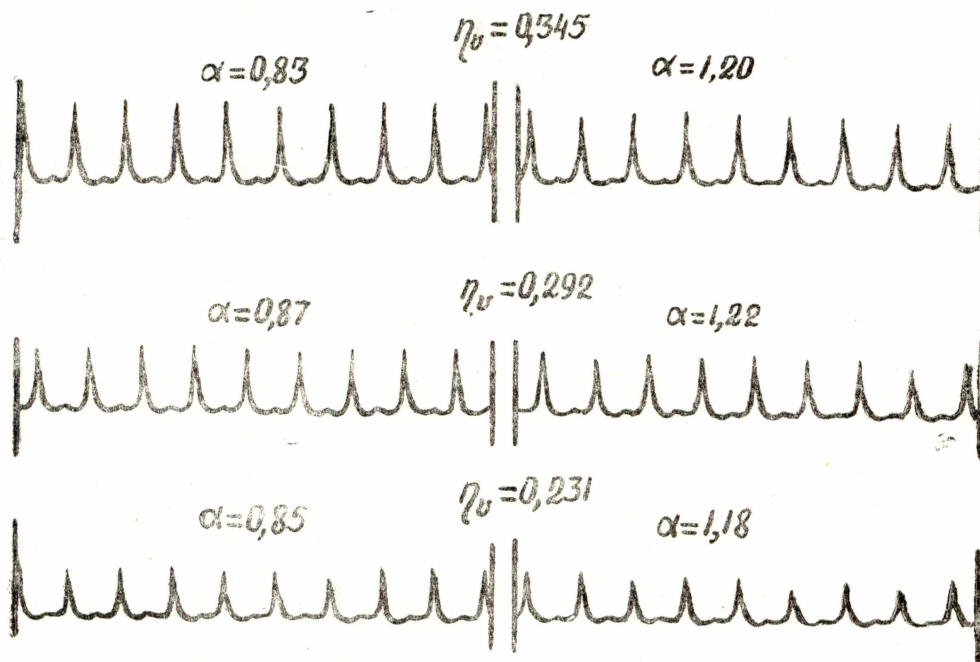
Как показало исследование индикаторных диаграмм (фиг. 5, табл. 1), температура сгорания достигает максимального значения (показатель политропы $n_2 = 1,0$) уже после достижения максимального давления сгорания p_z , что можно объяснить интенсивным догоранием смеси после прохождения пламенем камеры сгорания в небольших очагах, образовавшихся в результате раздробления фронта пламени турбулентными пульсациями [3, 4, 5]. Чем дальше вправо смещена на



Фиг. 2. Зависимость продолжительности фаз сгорания от коэффициента наполнения η_v при дросселировании; $\circ$ —наивыгоднейшее переменное опережение зажигания; Δ —постоянное опережение зажигания.

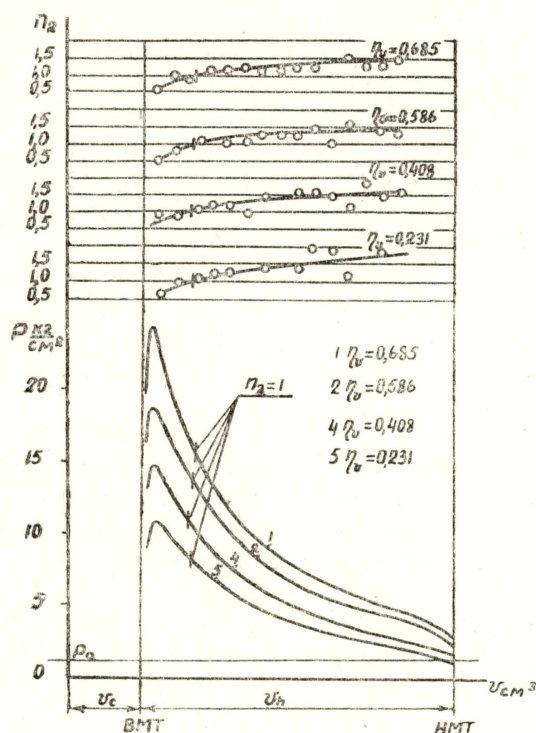


Фиг. 3. Зависимость коэффициента выделения тепла ξ_z от коэффициента наполнения η_v при дросселировании, опережение зажигания наилучшее переменное.



Фиг. 4. Осциллограммы давления газов в цилиндре двигателя Л6/3 при дросселировании, опережение зажигания переменное наилучшее.

индикаторной диаграмме точка, соответствующая максимальной температуре сгорания ($n_2=1,0$) относительно максимального давления сгорания p_z , тем очевидно больше догорание.



Фиг. 5. Изменение показателя политропы расширения по ходу поршня при дросселировании, опережение зажигания переменное наивыгоднейшее, $\alpha=1,07$.

Таблица 1

Положение точек $n_2=1,0$ (максимальная температура сгорания) на линии сгорания—расширения в град. от ВМТ при дросселировании в зависимости от состава смеси

α	η_v				
	0,685	0,586	0,408	0,293	0,231
0,520—0,580	44	46	45	44	46
0,839—0,876	40	39	37	38	—
0,927—0,969	40	39	41	40	40
около 1,07	45	44	40	—	44
1,200—1,263	45	53	44	45	45

С прикрытием дроссельной заслонки, как видно из графика и таблицы, положение точек $n_2=1,0$ на линии расширения не изменяется. Это указывает на то, что увеличение доли остаточных газов в смеси не влияет на качество сгорания. На положение точки $n_2=1,0$ (табл. 1) оказывает влияние состав смеси. Наименьшее смещение точки $n_2=1,0$ от ВМТ в сторону процесса расширения наблюдается на смесях $\alpha=0,8—0,9$, сгорающих с максимальными нормальными скоростями. С обогащением и обеднением смеси от указанного состава длительность догорания возрастает и точка $n_2=1,0$ смещается от ВМТ в сторону расширения. Это указывает на то, что в очагах

догорания (третья фаза сгорания по Соколику А. С. [3]) скорость сгорания определяется только физико-химическими свойствами заряда, так как очаги малы по сравнению с преобладающими масштабами действующих турбулентных пульсаций [3, 4]. Полученные рядом авторов фотографии пламени в цилиндре двигателя [5, 9, 10] так же отчетливо показывают свечение после прохождения пламенем всей камеры сгорания, которое объяснимо догоранием смеси в очагах, оставшихся вследствие раздробления фронта пламени. Улучшение сгорания с увеличением доли остаточных газов, подобно рассмотренному, отмечается так же в работах [7, 12] и объясняется внутренним прогревом смеси остаточными газами.

При дальнейшем дросселировании двигателя коэффициент ξ_z несколько снижается. По-видимому, рост остаточных газов в смеси при $\eta_v < 0,4$ уменьшает полноту сгорания вследствие образования неполных продуктов горения из-за малой концентрации кислорода и низких давлений в цилиндре.

Влияние остаточных газов сказывается главным образом на увеличении продолжительности периода задержки воспламенения $\varphi_{зв}$ (фиг. 2) и приводит к удлинению продолжительности полного сгорания $\varphi_{пол}$. Скорость сгорания за период $\varphi_{зв}$ определяется физико-химическими свойствами заряда—составом смеси и остаточными газами [3, 4, 5]. Очаг горения в этот период очень мал по сравнению с размахом турбулентных пульсаций, и последние не оказывают влияния на ускорение сгорания. Увеличение же доли остаточных газов в смеси при дросселировании снижает нормальную скорость сгорания и продолжительность периода $\varphi_{зв}$ возрастает.

Наименьшая продолжительность периода $\varphi_{зв}$ достигается на смесях состава $\alpha = 0,8—0,9$ (фиг. 2), сгорающих с наибольшими нормальными скоростями. С обогащением и обеднением смеси от указанного состава нормальная скорость сгорания снижается и продолжительность периода $\varphi_{зв}$ возрастает. С установкой наивыгоднейшего переменного опережения зажигания период $\varphi_{зв}$ смещается в сторону процесса сжатия, чем достигается стабилизация положения периода $\varphi_{вид}$ по ходу поршня.

При работе двигателя с постоянным опережением зажигания (равном 14° до ВМТ), подобранном оптимальным для режима полного открытия дроссельной заслонки, при дросселировании продолжительность периода $\varphi_{зв}$ (фиг. 2) не отличается от величины ее при наивыгоднейшем переменном опережении зажигания. Удлинение периода $\varphi_{зв}$ с прикрытием дросселя приводит к смещению периода $\varphi_{вид}$ в сторону хода расширения (фиг. 1б). Степень расширения при этом сокращается, вследствие чего уменьшается количество тепла, превращаемое в индикаторную работу.

На смесях $\alpha = 0,7—1,0$ продолжительность периода $\varphi_{зв}$ минимальная (фиг. 2) и не вызывает большого смещения периода $\varphi_{вид}$ от ВМТ. Здесь сгорание протекает в таких же условиях, как и при наивыгоднейшем переменном опережении зажигания, и продолжительность периода $\varphi_{вид}$, как и $\varphi_{пол}$, не отличается от его величины при наивыгоднейшем зажигании. При обеднении смеси от $\alpha = 1,0$ до $\alpha = 1,2$ с уменьшением коэффициента наполнения η_v продолжительность периода $\varphi_{зв}$ (фиг. 2) увеличивается и вызывает смещение видимого сгорания от ВМТ вправо.

При дросселировании до $\eta_v = 0,4$ продолжительность $\varphi_{зв}$ так же практически не отличается от ее величины при наивыгоднейшем переменном опережении зажигания, несмотря на смещение видимого сгорания на ход расширения до 35° после ВМТ. Последнее

указывает на наличие интенсивной турбулентности у малолитражного двигателя даже при значительном удалении поршня от ВМТ. Увеличение продолжительности периода $\varphi_{вид}$ на прикрытых дросселях указывает на менее интенсивную турбулентность [5] при большем удалении поршня от ВМТ. Полная продолжительность сгорания при дросселировании с постоянным опережением зажигания возрастает по сравнению с наивыгоднейшим опережением зажигания на 7—15%.

Описанные выше экспериментальные исследования позволяют сделать следующие выводы:

1. При установке переменного опережения зажигания, независимо от состава смеси в пределах воспламеняемости, продолжительность видимого сгорания остается постоянной при любых положениях дроссельной заслонки. Начало видимого сгорания приходится на 4—7° до ВМТ, конец — на 15—19° после ВМТ.

Продолжительность периода задержки воспламенения зависит от физико-химических свойств смеси. Обогащение и обеднение смеси от состава $\alpha=0,8-0,9$ равно как и увеличение содержания остаточных газов в ней при дросселировании двигателя, ведет к удлинению периода задержки воспламенения и увеличению продолжительности полного сгорания.

Коэффициент выделения тепла с прикрытием дроссельной заслонки практически не изменяется. Это указывает на то, что с увеличением степени дросселирования двигателя сгорание не ухудшается. Последнее подтверждается так же неизменным, при разных открытиях дроссельной заслонки, положением по ходу поршня точек максимальной температуры сгорания T_z (точки $\bar{p}_z=1,0$).

2. При постоянном угле опережения зажигания, подобранном оптимальным для полного дросселя, продолжительность периода задержки воспламенения не отличается от его величины при наивыгоднейшем переменном опережении зажигания. Увеличение продолжительности периода задержки воспламенения смещает видимое сгорание на ход расширения. При уменьшении наполнения до $\eta_v=0,4$ продолжительность видимого сгорания практически не изменяется: при дальнейшем дросселировании продолжительность видимого сгорания увеличивается.

ЛИТЕРАТУРА

1. Двигатель Л6/3, Машгиз, 1951.
2. Мазинг Е. К. Тепловой процесс двигателей внутреннего сгорания ОНТИ, 1937.
3. Соколик А. С. Основы теории нормального сгорания в двигателях с искровым зажиганием, Сб. "Сгорание в транспортных поршневых двигателях", АН СССР, 1951.
4. Щелкин К. И. К вопросу о турбулентном горении и фазах сгорания в двигателе, Известия АН СССР, Отд. тех. наук, № 3, 1953.
5. Соколик А. С., Воинов А. Н., Свиридов Ю. Б. Влияние химического и турбулентного факторов на процесс сгорания в условиях двигателя. Известия АН СССР, Отд. техн. наук, № 12, 1951.
6. Соколик А. С. Выступление по докладу Чудакова Е. А. — "Основные проблемы сгорания топлива в автотракторных двигателях", Сб. "Сгорание в транспортных поршневых двигателях". АН СССР, 1951.
7. Масленников М. М. Сгорание и детонация, Госмашметиздат, 1933.
8. Ленин И. М. Теория автомобильных двигателей. Машгиз. 1958.
9. Rassweiler G. Witrow C., Cornelius W., Engine Combustion and Pressure Development, SAEJ., Vol. 46, № 1, 1940.
10. Иост В. Взрывы и горение в газах, ИЛ., 1952.
11. Орлин А. С., Калиш Г. Г., Вырубов Д. Н. и др. Двигатели внутреннего сгорания Машгиз, 1957.
12. Зальманов Л. Г. К вопросу об экономичности карбюраторных двигателей, Кандидатская диссертация, Томский политехнический институт, 1950.