

Л и т е р а т у р а

1. Иванченко Н.Н. и др. Рабочий процесс дизелей с камерой в поршне. Л., 1972. 2. Исследование тракторных двигателей. — "Труды НАТИ". М., 1969, вып. 199.

В.А. Рожанский, Ч.Б. Дробышевский

АНАЛИЗ СМЕСЕОБРАЗОВАНИЯ В КАМЕРЕ ТИПА ЦНИДИ В ПРИМЕНЕНИИ К БЫСТРОХОДНОМУ ДИЗЕЛЮ Д-240

Известно, что в дизелях, имеющих камеру сгорания в поршне, при такте сжатия воздух перетекает в камеру по определенным траекториям и со скоростью, зависящей от типа камеры, ее геометрии и скоростного режима. Причем в открытых, неглубоких камерах сгорания движение воздушных потоков за счет вытеснения сравнительно слабое, а потому имеет второстепенное значение (камеры типа ЯМЗ, Перкинс) и, наоборот, в относительно глубоких камерах с узкой горловиной формирующийся вихрь при вытеснении воздуха поршнем — решающий фактор для обеспечения хорошей экономичности процесса. Типичным представителем камеры сгорания второго типа является камера типа ЦНИДИ, в которой на такте сжатия при подходе поршня к в.м.т. радиальные потоки воздуха трансформируются в осевой поток за горловиной камеры, а затем осевое движение потока переходит во вращательное.

На рис. 1 приведены зависимости радиальных W_p и осевых W_0 скоростей, а также удельной энергии $E_{уд}$ в камере сжатия двигателя Д-240 в зависимости от величины надпоршневого зазора h на прогревом двигателе при следующих параметрах: объем камеры в поршне $V_k = 60 \text{ см}^3$; степень сжатия $\varepsilon = 16$; коэффициент наполнения $\eta_V = 0,86$, объем подклапанных гнезд $V_{кл} = 6,0 \text{ см}^3$.

Расчет осевой скорости W_0 производился по формуле, взятой из работы [1], в которую на основании работы [2] введен коэффициент сужения α , учитывающий изменение сечения струи воздуха за горловиной при подходе поршня к в.м.т.

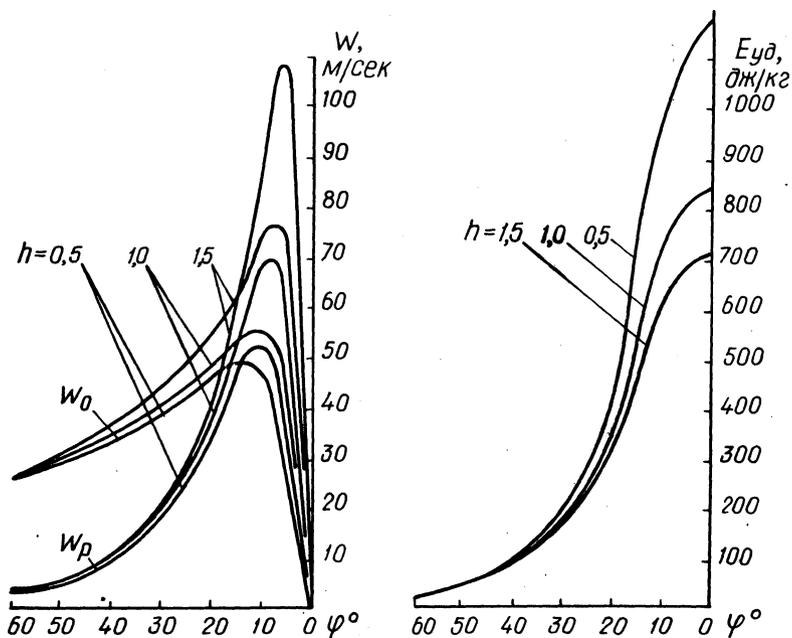
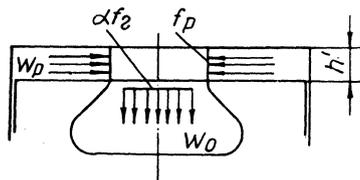


Рис. 1. Изменение осевой W_0 , радиальной W_p скоростей перетекания и удельной энергии $E_{уд}$ при разных значениях надпоршневого зазора h на номинальном скоростном режиме.

$$W_0 = \frac{\pi n}{30} \frac{V_k}{f_r^\alpha} \frac{f(\varphi)}{\left[\frac{2}{e-1} + \psi(\varphi) \right]},$$

где n — число оборотов коленчатого вала в минуту; f_r — площадь горловины камеры, см²; α — коэффициент сужения струи воздуха за горловиной камеры.

$$\alpha = 0,615 \left(1 - e^{-\frac{12,3h^1}{d}} \right),$$

где h^1 — текущий надпоршневой зазор, мм; d — диаметр горловины, мм; $f(\varphi)$ и $\Psi(\varphi)$ — кинематические функции перемещения поршня.

Расчет радиальной скорости перетекания W_{Γ} через кольцевую щель над горловиной камеры производился по формуле, выведенной исходя из предположения, что количество воздуха, перетекающего через горловину камеры сгорания и кольцевую щель над горловиной за элементарный отрезок времени пропорционально вытесняющим эти объемы воздуха соответствующим площадям поршня, а плотность воздуха во всех точках камеры сжатия одинаковая:

$$W_p = C \frac{W_0 \alpha}{\Psi(\varphi) + 2\delta_h},$$

где $C = \frac{d(D^2 - d^2)}{2SD^2}$; $\delta_h = \frac{h}{S}$; D — диаметр цилиндра, мм; S — ход поршня, мм.

Расчет кинетической энергии воздушного потока производился по методике [3].

На основании анализа работ [2,3,4], а также исследований, проведенных на ММЗ, можно описать предполагаемый процесс образования вихря в камере сгорания. Наибольший интерес представляет угол поворота коленчатого вала 15° до в.м.т. — в.м.т., т.е. тот угол, где начинается подача топлива в камеру, скорости перетекания воздуха возрастают, а коэффициент сужения воздушного потока за горловиной камеры уменьшается.

Так, на номинальном скоростном режиме при положении поршня на такте сжатия за 40° до в.м.т. скорость воздуха за горловиной камеры W_0 ($h = 0,5$ мм) равна $37,4$ м/сек, а коэффициент сужения потока $\alpha = 0,615$; за 15° до в.м.т. $W_0 = 58,4$ м/сек; $\alpha = 0,398$; за 10° до в.м.т. $W_0 = 71,5$ м/сек; $\alpha = 0,26$; за 5° до в.м.т. $W_0 = 74,3$ м/сек, $\alpha = 0,141$.

Таким образом, при подходе поршня к в.м.т. и перетекании воздуха в камеру активное сечение горловины уменьшается с одновременным ростом скорости потока с точкой перегиба в зоне $7^\circ - 5^\circ$ до в.м.т. На рис. 2 представлена предполагаемая

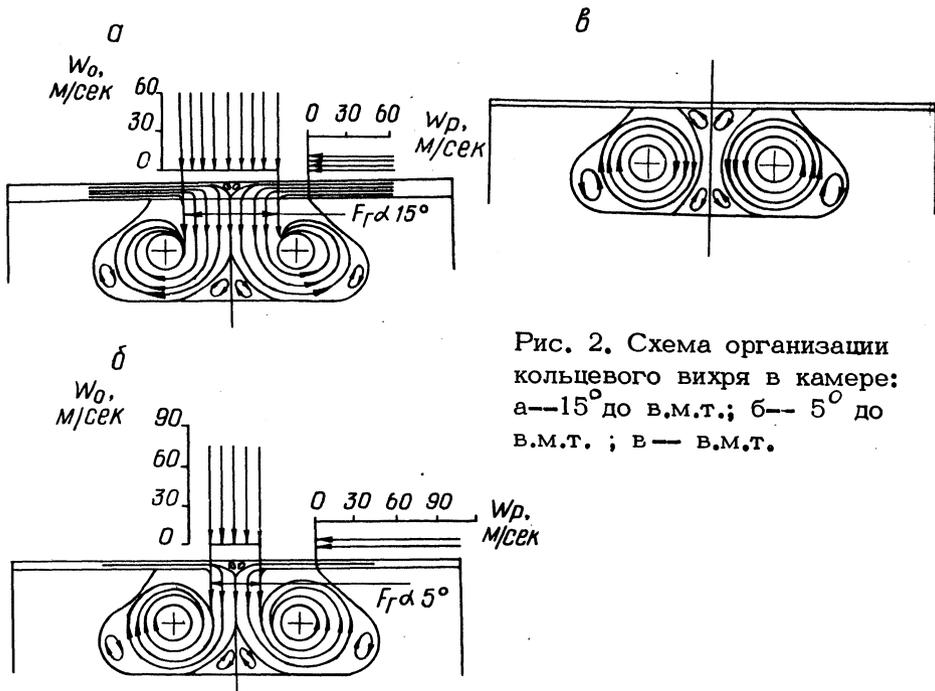


Рис. 2. Схема организации кольцевого вихря в камере: а-- 15° до в.м.т.; б-- 5° до в.м.т. ; в-- в.м.т.

структура вихря при подходе поршня в в.м.т. При втекании потока воздуха в камеру периферийные слои потока начинают перемещаться по наименьшему радиусу, а центральные -- по наибольшему. При этом над горловиной и в нижней части камеры создаются зоны местной циркуляции воздуха. По мере подхода поршня к в.м.т. сечение воздушного потока уменьшается, а расстояние от оси вращения вихря до периферийных слоев потока увеличивается. Таким образом, последовательно входящие в камеру сгорания порции воздуха, имеющие к тому же большую скорость, чем предыдущие, начинают вращаться на большем радиусе; происходит как бы послойное увеличение диаметра вихря, и каждый последующий слой имеет большую скорость (за исключением поворота коленчатого вала 5° до в.м.т.-в.м.т.).

Однако в этом диапазоне угла поворота коленчатого вала в камеру перетекает всего 5% массы воздуха, в то время, как в диапазоне 15° -- 5° до в.м.т. количество перетекающего воздуха составляет 31% от массы воздуха, находящегося в камере сгорания при положении поршня в в.м.т. Эта масса является

определяющей при смесеобразовании, так как она перетекает с наибольшей скоростью и удваивает удельную энергию заряда $E_{уд}$. Одновременно с формированием в камере устойчивого кольцевого вихря происходит процесс топливоподачи в камеру; действительное начало подачи топлива начинается за 13—15 до в.м.т.

По мере перемещения сильно турбулизованных факелов топлива через практически встречный вихревой поток воздуха мелко распыленное топливо затормаживается и вовлекается во вращательное движение. Как следует из работ Д.Н. Вьюрובה [5], при впрыске в бомбу с давлением $p = 30 \text{ кг/см}^2$ капли топлива $d_k = 10\text{--}20 \text{ мк}$ практически теряют свою скорость через 0,1—0,5 мсек. Очевидно, при встречном вихре время затормаживания таких капель топлива будет меньше и будут затормаживаться также более крупные капли.

По мере подхода поршня к в.м.т. сужение потока воздуха увеличивается и каждый последующий слой воздуха с захваченным топливом оказывается на большем диаметре кольцевого вихря, а предыдущие топливо-воздушные слои отжимаются к центру вихря. Происходит как бы послойное смесеобразование, причем, в этот период до начала видимого сгорания значительную роль играют испарение, диффузия и местная турбулентность.

Известно, что в процессе впрыска происходит сильная турбулизация факела. Факел состоит из мелких на периферии и более крупных капель и их скоплений в центральной части. С началом развития факела в камере и его взаимодействия с потоками воздуха, имеющими высокую температуру, начинается интенсивное испарение. Так, по данным работы [5], время полусгорания частиц топлива размером $d_k = 10 \text{ мк}$ для условий $Nu = 2$ составляет 0,2—0,8 мсек. В реальном случае при впрыске топлива в камеру сгорания происходит интенсивное движение вихря, следовательно, испарение еще более интенсивно и за период задержки воспламенения, который составляет для двигателя Д-240 на номинальном режиме работы 1,0—1,15 мсек, испарится значительное количество топлива. Таким образом, в зоне кольцевого вихря образуется довольно однородная топливо-воздушная смесь с местными переобогащениями в зоне топливных факелов.

Более крупные частицы топлива диаметром 40 мк и больше, по данным ЦНИДИ [6], долетают до стенок камеры, где и оседают, образуя неоднородное пленочное и капельное покры-

тие с топливно-воздушным слоем над поверхностью. Организованный воздушный вихрь, несколько деформируясь у наклонной поверхности камеры, сдувает эту паровоздушную смесь и вовлекает во вращательное движение.

К моменту начала воспламенения поршень находится в в.м.т., перетекание воздуха закончилось, кольцевой вихрь принял окончательные размеры и структуру. Первые порции топливно-воздушной смеси вынесены к центру горловины камеры, смесеобразование продолжается за счет вихревого движения воздуха, испарения, диффузии и местной турбулентности, в том числе и за счет испарения топлива с поверхности камеры, хотя, как указывают некоторые исследователи [7], процент испарения топливной пленки за период задержки воспламенения незначителен.

Следует отметить, что величина надпоршневого зазора активно влияет на скорость и энергию заряда в диапазоне 20° до в.м.т. — в.м.т. Так, при увеличении надпоршневого зазора на прогревом двигателе с $h = 0,5$ мм до $h = 1$ мм, что соответствует $h_x = 1$ мм и 1,5 мм на холодном двигателе, максимальная скорость воздуха за горловиной уменьшается на 26,6%, а удельная энергия — на 30,3%. Следовательно, можно утверждать, что в данном случае меняется и скорость кольцевого вихря.

Для проверки степени влияния на экономичность процесса организованного кольцевого вихря и надпоршневого зазора как инструмента изменения скорости воздуха на ММЗ были проведены следующие опыты.

В камеру сгорания устанавливался цилиндрический тонкостенный стальной стакан, диаметр которого соответствовал диаметру нейтральной оси расчетного кольцевого вихря, а высота — максимальному радиусу вращения вихря вокруг нейтральной оси. С целью проверки влияния разогретой массы вставки на процесс была установлена также теплоизолированная коническая вставка, не мешающая организации кольцевого вихря (рис. 3). Из приведенных нагрузочных характеристик следует, что при установке цилиндрической вставки на нагрузке $P_e = 6,7$ кг/см² экономичность ухудшилась на 19 г/э.л.с.ч.; уменьшение высоты вставки с 12 мм до 6 мм ухудшило экономичность на 10 г/э.л.с.ч., и установка теплоизолированной конической вставки не изменила экономичности по сравнению со штатной комплектацией.

Таким образом, было подтверждено решающее значение для обеспечения высокой экономичности камеры типа ЦНИДИ орга-

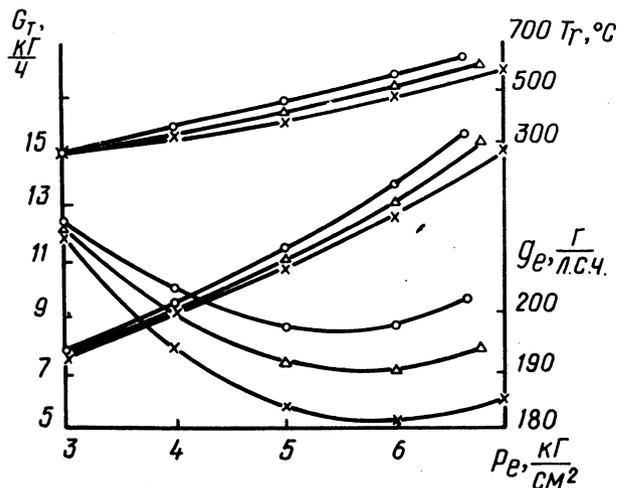
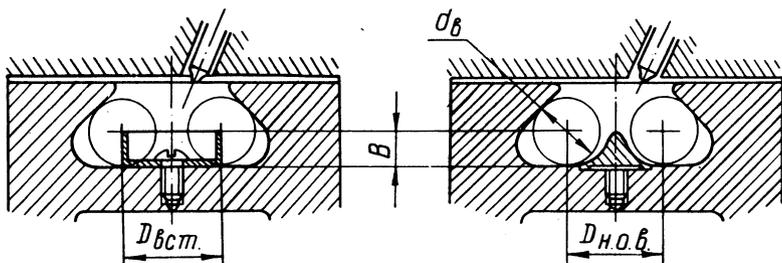


Рис. 3. Экономичность процесса при наличии организованного кольцевого вихря и при общей турбулизации в камере сгорания:

\times — \times — штатная камера двигателя Д-240 и камера с коническим вытеснителем в центре. Расчетный диаметр нейтральной оси кольцевого вихря — $D_{н.о.в.}$; $d_в$ — диаметр вихря; \circ — \circ — камера с цилиндрической тонкостенной вставкой — $B = d_в/2$; $D_{вст} = D_{н.о.в.}$; \triangle — \triangle — камера с подрезанной вставкой — $B_{вст} = \frac{d_в}{4}$.

низованного движения воздушного заряда. Сохранение скорости перетекания за горловиной камеры и наличие общей турбулизации недостаточны для обеспечения удовлетворительного протекания рабочего цикла.

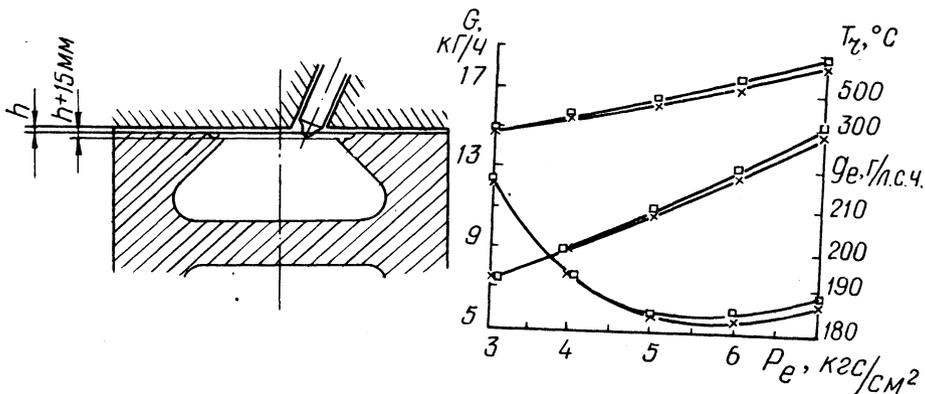


Рис. 4. Зависимость экономичности процесса от величины надпоршневого зазора в зоне горловины камеры: x—x — штатная камера сгорания; □—□ — надпоршневой зазор увеличен на 1,5 мм.

Для выявления влияния надпоршневого зазора на экономичность процесса была снята исходная нагрузочная характеристика, а затем в зоне горловины камеры была выполнена цековка на глубину 1,5 мм и снята нагрузочная характеристика (рис. 4). Из графика следует, что экономичность двигателя на номинальном режиме ухудшилась на 2,5—3 г/э.л.с.ч. С учетом снижения отношения V_k/V_c на 0,01 ухудшение экономичности за счет уменьшения скорости перетекания составило 1—1,5 г/э.л.с.ч.

В ы в о д ы

1. В камере сгорания типа ЦНИДИ при такте сжатия образуется организованное, направленное движение воздуха в виде кольцевого вихря.
2. При впрыске топлива в течение периода задержки воспламенения происходит послойное смесеобразование с отжатием ранее вошедших во вращательное движение порций топливно-воздушной смеси к центру вихря.
3. Организованное движение воздуха в камере типа ЦНИДИ является таким же важным фактором для обеспечения высокой экономичности процесса, как и для открытых камер сгорания.
4. Влияние величины надпоршневого зазора на рабочий процесс двигателя с камерой сгорания типа ЦНИДИ обусловлено также изменением при этом параметров кольцевого вихря.

Л и т е р а т у р а

1. Исследование процессов смесеобразования двигателей с воспламенением от сжатия. — "Труды НАМИ." М., 1953, вып. 69.
2. Володин В.М. Методика расчета и анализ параметров камеры сгорания дизеля. — "Изв. высш. учеб. завед. Машиностроение. М., 1968, № 12.
3. Володин В.М. Исследование воздушных потоков в камере сгорания типа ЦНИДИ. — Канд. дис. М., 1969.
4. Левко С.И. Конструкция камеры сгорания полуразделенного типа и результаты ее испытания. Исследование рабочего процесса в дизелях. — "Труды ЦНИДИ". М., 1950, вып. 17 Л.
5. Вырубов Д.Н. Смесеобразование в двигателях дизеля. — В сб.: Рабочие процессы двигателей внутреннего сгорания. М., 1946.
6. Иванченко Н.Н. и др. Рабочий процесс дизелей с камерой в поршне. Л., 1972.
7. Meurer Siegfried. Der Wandel in der Vorstellung vom Adlaut der Gemischbildung und Verbrennung im Dieselmotor. — MTZ, 1966, Bd 27, N 34.

В.С. Грачев, В.М. Никитин, З.М. Ройфберг

ПРИМЕНЕНИЕ АНАЛИЗА РАЗМЕРНОСТЕЙ ПРИ ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОМ ИССЛЕДОВАНИИ ДИЗЕЛЯ А-01М С ГАЗОТУРБИНЫМ НАДДУВОМ

Существующие теоретические и экспериментальные методы определения параметров дизелей с газотурбинным наддувом — весьма громоздки и сложны, требуют значительных затрат времени и определения большого количества взаимозависимых факторов в эксперименте. Часто при определении параметров такого дизеля необходимо дополнительно привлекать данные безмоторных испытаний турбокомпрессора.

Применение анализа размерностей при исследованиях двигателей внутреннего сгорания может существенно упростить методику проведения эксперимента и анализ экспериментальных данных.

С целью определения обобщающих параметров и было проведено настоящее исследование на дизеле А-01М с газотурбинным наддувом, укомплектованным турбокомпрессором ТКР-11. План эксперимента включал снятие серии скоростных характеристик дизеля во всем возможном диапазоне его работы.