

ВЛИЯНИЕ ТУРБУЛИЗАЦИИ ЗАРЯДА НА ДЕТОНАЦИЮ В БЕНЗИНОВОМ ДВИГАТЕЛЕ

А. В. Капустин¹, В. Л. Чумаков², С. Н. Девянин²,

А. В. Бижаев²

¹ФГБОУ ВО «Новгородский государственный университет имени Ярослава Мудрого», г. Великий Новгород, Российская Федерация

²ФГБОУ ВО «Российский государственный аграрный университет - МСХА имени К. А. Тимирязева», г. Москва, Российская Федерация

Аннотация. Анализируется зависимость детонации в бензиновом двигателе и турбулизация рабочего заряда. Экспериментами показано, что турбулизация заряда на впуске меняет динамику тепловыделения в цилиндре, однако имеет неоднозначное влияние на детонацию как товарного бензина, так и чистого изооктана.

Ключевые слова: детонация, турбулизация заряда, тепловыделение, теплообмен в камере сгорания.

EFFECT OF CHARGE TURBULIZATION ON KNOCKING IN A PETROL ENGINE

A. V. Kapustin^a, V. L. Chumakov^b, S. N. Devyanin^b,

A. V. Bizhaev^b

^aYaroslav the Wise Novgorod State University, Veliky Novgorod, Russian Federation

^bRussian State Agrarian University - Moscow Timiryazev Agricultural Academy, Moscow, Russian Federation

Abstract. The dependence of detonation in a gasoline engine and the turbulence of the working charge are analyzed. Experiments have shown that charge turbulence at the inlet changes the dynamics of heat release in the cylinder, however, it has an ambiguous effect on the detonation of both commercial gasoline and pure isooctane.

Keywords: detonation, charge turbulence, heat release, heat transfer in the combustion chamber.

Известно, что турбулизация или направленное вихревое движение газа в цилиндре поршневого двигателя заметно сокращает длительность сгорания, а сокращение длительности сгорания

приводит к улучшению антидетонационных свойств бензинового двигателя. Турбулизацию заряда можно получить двумя способами: за счет внешних конструктивных решений (до цилиндра), или за счет внутренних конструктивных решений в камере сгорания. В первом случае подразумевается проектирование профильных впускных каналов: тангенциальных, винтовых и др. Во втором случае - проектирование такой геометрии камер сгорания с развитыми вытеснителями, которые создавали бы как можно более интенсивную турбулизацию заряда. В работах [1, 2] приводятся примеры тех и других способов с количественной оценкой эффективности по сокращению длительности сгорания и улучшению антидетонационных свойств двигателей. Вместе с тем, известны исследования [3], в которых турбулизация заряда существенно сокращала длительность сгорания, однако требования двигателя к детонационной стойкости топлив не менялись. Причины этого не установлены.

Поэтому в настоящей работе проведены экспериментальные исследования по оценке эффективности влияния турбулизации заряда на антидетонационные свойства двигателя. Турбулизация заряда создавалась путем заширмления впускного клапана, то есть отражателей на клапане, влияющих на турбулизацию поступающего в камеру сгорания заряда.

Опыты с заширмленным клапаном проводились на выделенном цилиндре 4-цилиндрового двигателя размерностью 79 мм х 80 мм, клиновой камерой и степенью сжатия $s = 9$. Угол охвата ширмы 120° , высота ширмы 10 мм. Клапан устанавливался и фиксировался в 4-х положениях (позициях). Схема ориентации ширмы в 4-х положениях показана на рисунке 1.

Свеча зажигания

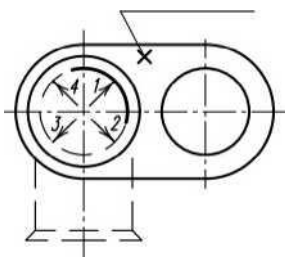


Рисунок 1 - Схема ориентации ширмы

Выделенный цилиндр имел отдельную систему питания. Остальные три цилиндра питались от штатной системы. Эти цилиндры работали при небольшом открытии дроссельной заслонки. Штатная система зажигания работала на все цилиндры.

До моторных испытаний была выполнена продувка выделенного цилиндра, которая показала наибольшую интенсивность движения заряда при положении заширмленного клапана в позиции 2. Предварительные моторные испытания показали, что наибольшие изменения эффективных показателей двигателя происходят так же при положении клапана в позиции 2. Поэтому дальнейшие сравнительные (со штатным клапаном) опыты проводились при положении заширмленного клапана в позиции 2. На рисунке 2 представлены регулировочные характеристики по углу опережения зажигания, снятые при коэффициенте избытка воздуха $a = 0,9$, максимальном наполнении цилиндра, частоте вращения 1700 об/мин при работе двигателя на бензине и на изооктане.

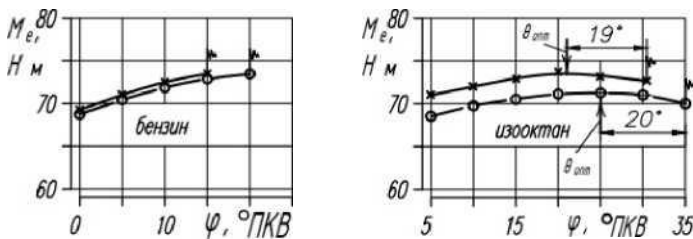


Рисунок 2- Регулировочные характеристики по углу зажигания:

○ - штатный клапан; * - заширмленный клапан; |* - начало слышимой детонации.

Как следует из рисунка 2 заширмление клапана не улучшает антидетонационные свойства двигателя. При работе на бензине отличия в моменте начала детонации составили 5 °ПКВ. Близкие результаты и для изооктана - разность между оптимальным углом зажигания и углом зажигания по началу детонации практически не изменилась: с заширмленным клапаном - 19 °ПКВ, со штатным клапаном - 20 °ПКВ.

Чтобы установить причины этого, было проведено индицирование выделенного цилиндра. Индицирование показало, что длительность сгорания от момента отрыва линии сгорания от

линии сжатия до максимума температуры цикла (длительность тепловыделения) с заширленным клапаном сократилась на 9 °ПКВ. При этом изменились характеристика активного тепловыделения, представленная в относительных координатах на рисунке 3, и значение среднего показателя политропы сжатия (рисунок 4).



Рисунок 3 - Характеристики активного тепловыделения

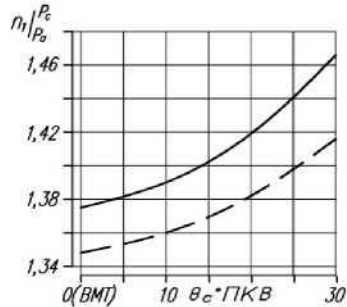


Рисунок 4 - Средние показатели политроп сжатия

Обозначения на рисунках 3 и 4: ξ_a - текущее значение коэффициента активного тепловыделения; ξ_{aT} - значение коэффициента активного тепловыделения при максимальной температуре цикла; θ_c - угол в градусах поворота коленчатого вала (°ПКВ) от верхней мертвой точки (ВМТ) до момента отрыва линии сгорания от линии сжатия (отсчет ведется против вращения вала); θ - текущий угол поворота коленчатого вала (отсчитывается от ВМТ в по направлению вращения); θ_{PKB} - угол ПКВ от ВМТ до момента достижения максимума температуры цикла; $\bar{m}|P_c'$ - средний показатель политропы сжатия от начального давления P_a до текущего значения давления сжатия P_c (определялся по давлениям).

Расчет основных показателей рабочего цикла [4] показывает, что кривая активного тепловыделения в случае с заширленным клапаном (сплошная кривая на рисунок 4) характеризует более медленное выгорание топлива в начальный период сгорания по сравнению с кривой активного тепловыделения при штатном клапане. Уменьшение динамики сгорания будет приводить к некоторому улучшению антидетонационных свойств двигателя, что отмечается и другими исследователями [5].

Изменение показателя n_{11}^{\wedge} характеризует более сильный подогрев заряда при сжатии в случае заширмленного клапана. При этом по мере уменьшения участка сжатия (по мере роста 0_c) разрыв между кривыми на рисунке 4 увеличивается. Это свидетельствует о том, что на начальных участках сжатия в цикле с заширмленным клапаном подогрев заряда значительно выше, чем в цикле с обычным клапаном. Повышенный подогрев при сжатии создает более высокий уровень текущей температуры несгоревшей части заряда за весь период от начала сжатия до окончания сгорания, что способствует более интенсивному развитию самовоспламенения и возникновению детонации. Этот повышенный подогрев должен оказывать более сильное влияние на детонацию для топлив с одностадийным механизмом воспламенения, характерного для ароматических углеводородов, а также для топлив с двухстадийным механизмом самовоспламенения, когда развитие процесса самовоспламенения протекает по высокотемпературному механизму при более высоких температурах несгоревшей части заряда. Это относится к двигателям с более высокими степенями сжатия, работающих на бензине, в составе которого большая доля парафиновых углеводородов высокой детонационной стойкости.

В двигателях с невысокой степенью сжатия применялся бензин, состоящий в основном из парафиновых углеводородов с низким октановым числом. Поэтому вероятнее всего процесс самовоспламенения несгоревшей части заряда в таких двигателях развивался в низкотемпературной стадии двухстадийного механизма, характерной для невысоких температур. В низкотемпературной стадии температура практически не влияет на задержки самовоспламенения и, следовательно, на скорости предпламенных химических реакций. Этим можно объяснить противоречивые результаты по исследованию турбулизации на антидетонационные свойства двигателей с разными степенями сжатия и работающих на различных топливах.

Внутренняя турбулизация за счет вытеснителей и геометрических очертаний камер сгорания (КС) создается в конце процесса сжатия, когда температура газа выше температуры стенок КС. В этом случае так же увеличивается теплопередача, но она уменьшает температуру и, значит, замедляет развитие

самовоспламенения и детонации. Оба фактора, увеличение скорости горения и интенсивности теплопередачи, работают на подавление детонации. Поэтому, при прочих равных условиях, турбулизация, создаваемая внутри цилиндра, всегда будет сильнее подавлять детонацию, чем турбулизация, создаваемая на впуске.

Выводы.

1. Турбулизация заряда, создаваемая на впуске в цилиндры двигателей, приводит к сокращению длительности сгорания, но может как снижать требования к детонационной стойкости топлива, так и не менять их, возможно, даже их увеличивать. Это зависит от группового состава топлива, величины октанового числа, степени сжатия двигателя, механизма самовоспламенения топлива.

2. Турбулизация заряда, создаваемая на впуске в цилиндры двигателей, приводит к значительному подогреву заряда при сжатии, особенно на начальном участке сжатия, более высокому уровню текущей температуры несгоревшего заряда от начала сжатия до его сгорания. В зависимости от применяемого топлива, степени сжатия это повышение температуры может нивелировать улучшение антидетонационных свойств двигателя от сокращения длительности сгорания.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Воинов, А. Н. Сгорание в быстроходных поршневых двигателях / А. Н. Воинов. -М. : Машиностроение, 1977. -277 с.
2. Лурье, В. А. Итоги науки и техники (двигатели внутреннего сгорания): Пути повышения экономичности автотракторных двигателей / В. А. Лурье, В. А. Мангушев, И. В. Маркова. - ВИНТИ, 1982. -Т.3.- 232 с.
3. Klopfen von Ottomotoren-Bericht uber eine international Konferenz in Wolfsburg // MTZ. - 1982. - 43,- № 6. - Pp. 272-274.
4. Капустин, А. В. Особенности расчета процесса сжатия в математических моделях термодинамических циклов бензиновых двигателей / А. В. Капустин, В. Л. Чумаков, А. В. Бижаев // В сб.: Чтения академика В. Н. Болтинского. - 2020. - С. 220-226.
5. Что происходит с автомобильным двигателем / Д. Карис, А. Мак Дuffи, В. Митшелл, Ф. Вицалек. - В кн.: Применение нефтепродуктов. - М. - Т. 7. - 1957. - С. 407-432.

Об авторах:

Капустин Александр Васильевич, доцент ФГБОУ ВО «Новгородский государственный университет имени Ярослава Мудрого» (173003, Российская Федерация, Великий Новгород, Большая Санкт-Петербургская ул., 41), кандидат технических наук, доцент.

Чумаков Валерий Леонидович, профессор кафедры тракторов и автомобилей, ФГБОУ ВО «Российский государственный аграрный университет - МСХА имени К. А. Тимирязева» (127434, Российская Федерация, Москва, ул. Тимирязевская, 49), кандидат технических наук, профессор.

Девянин Сергей Николаевич, профессор кафедры тракторов и автомобилей, ФГБОУ ВО «Российский государственный аграрный университет - МСХА имени К. А. Тимирязева» (127434, Российская Федерация, Москва, ул. Тимирязевская, 49), доктор технических наук, профессор.

Бижаев Антон Владиславович, доцент кафедры тракторов и автомобилей, ФГБОУ ВО «Российский государственный аграрный университет - МСХА имени К. А. Тимирязева» (127434, Российская Федерация, Москва, ул. Тимирязевская, 49), кандидат технических наук.

About the authors:

Alexander V. Kapustin, Associate Professor, Yaroslav the Wise Novgorod State University (173003, Russian Federation, Veliky Novgorod, Bolshaya St. Petersburg st., 41), Cand.Sc. (Engineering), Associate Professor.

Valery L. Chumakov, professor, Department of Tractors and Automobiles, Russian State Agrarian University - Moscow Timiryazev Agricultural Academy (127434, Russian Federation, Moscow, Timiryazevskaya st., 49), Cand.Sc. (Engineering), professor.

Sergey N. Devyanin, professor, Department of Tractors and Automobiles, Russian State Agrarian University - Moscow Timiryazev Agricultural Academy (127434, Russian Federation, Moscow, Timiryazevskaya st., 49), D.Sc. (Engineering), professor.

Anoton V. Bizhaev, associate professor, Department of Tractors and Automobiles, Russian State Agrarian University - Moscow Timiryazev Agricultural Academy (127434, Russian Federation, Moscow, Timiryazevskaya st., 49), Cand.Sc. (Engineering).