

М. Д. Гарипов

## КАЧЕСТВЕННОЕ РЕГУЛИРОВАНИЕ НАГРУЗКИ В МНОГОТОПЛИВНОМ ДВС С ИСКРОВЫМ ВОСПЛАМЕНЕНИЕМ

Приведены результаты экспериментального исследования возможности реализации в многотопливном ДВС с искровым воспламенением высоких коэффициентов избытка воздуха. Процесс реализуется за счет впрыска непосредственно в рабочую камеру двигателя богатой топливовоздушной струи, которая воспламеняется единичным искровым разрядом, расположенным вблизи ее границ. *Поршневой ДВС; многотопливность; коэффициент избытка воздуха*

### 1. СОСТОЯНИЕ ВОПРОСА

Исторически сложились два типа поршневых ДВС – с воспламенением от искры (бензиновые) и воспламенением от сжатия (дизели). Бензиновые двигатели отличаются высокой удельной мощностью и невысокой топливной экономичностью. Дизели обладают высокой топливной экономичностью, но низкой удельной мощностью. Перспективный (унифицированный) рабочий процесс должен объединять лучшие качества бензиновых двигателей и дизелей и работать на всей существующей номенклатуре выпускаемых для них топлив. Это даст возможность перейти на единое унифицированное топливо, включающее фракции современных товарных топлив, что значительно снизит энергоемкость и себестоимость их производства.

Для достижения топливной экономичности дизельных двигателей бензиновым двигателям необходимо поднять степень сжатия до уровня 12–15 и перейти на качественное регулирование мощности, т. е. увеличить максимальный коэффициент избытка воздуха на частичных нагрузках до значений, характерных для дизелей ( $\alpha \approx 5 - 6$ ). Бензиновые двигатели на режимах, близких к полной нагрузке, имеют к моменту воспламенения уже подготовленную гомогенную смесь. Это условие налагает ограничение по максимальной степени сжатия, так как в гомогенных смесях при повышенных степенях сжатия возникает детонация. Двигатели с непосредственным впрыском бензина приблизились к нижней границе вышеуказанного диапазона степеней сжатия лишь при условии использования высокооктановых топлив.

Дизели позволяют осуществить многотопливный цикл при высоких степенях сжатия. Например, для использования бензина с октановым числом 90 требуется  $\varepsilon = 22-25$ . Повышенные значения максимального давления и жесткости сгорания цикла при высоких степенях сжатия определяют высокие нагрузки на детали цилиндропоршневой группы, что приводит к увеличению механических потерь и требует более прочной конструкции двигателя. При использовании топлив с низкими цетановыми числами (например, бензинов) указанные явления усиливаются, поэтому время работы дизеля на резервных топливах по техническим условиям не превышает 10 % от общего ресурса двигателя. Снижение степени сжатия в транспортных дизелях до уровня 12–15 позволило бы снизить массу и габариты двигателя без увеличения расхода топлива.

Решение вышеперечисленных задач выдвигает ряд проблем смесеобразования, воспламенения и сгорания, которые необходимо разрешить в целях сохранения мощностных и экономических показателей двигателя при переходе с одного топлива на другое.

### 2. ПОСТАНОВКА ЗАДАЧИ

В работе [1] сформулирована гипотеза о возможном способе реализации унифицированного рабочего процесса. Процесс, согласно этой гипотезе, реализуется за счет впрыска компрессор-форсункой непосредственно в рабочую камеру двигателя богатой топливовоздушной струи, которая воспламеняется единичным искровым разрядом вблизи ее границ. Этим обеспечивается первый этап сгорания, характерный для бензинового двигателя. В результате повышения давления и температуры несгоревшей части топливовоздушной смеси, обусловленного сгоранием части смеси, воспламенной ис-

крой, на втором этапе происходит многоочаговое воспламенение и сгорание, характерное для рабочего процесса дизельного двигателя. При этом уровень неоднородности топливовоздушной смеси должен быть таким, чтобы, с одной стороны, исключить возможность возникновения детонации с интенсивностью, близкой к максимальной, с другой стороны, обеспечить максимально возможную степень использования имеющегося в рабочей камере двигателя воздуха. Удовлетворить эти противоречивые требования, вероятно, возможно, если организовать процесс таким образом, чтобы концентрационная неоднородность имела место на локальном уровне, а сами очаги локальной неоднородности были относительно равномерно распределены по объему камеры сгорания. Предполагается, что образование детонационных волн в локальных очагах допустимо, если в процессе распространения они ослабляются до такого уровня, который не представляет опасности для конструкции двигателя и не ухудшает его эффективные показатели. Принципы организации процессов смесеобразования и воспламенения, заложенные в предлагаемом рабочем процессе, должны позволить управлять степенью неоднородности за счет управления моментом начала подачи обогащенной топливовоздушной смеси в рабочую камеру и моментом первичного воспламенения искрой. Самовоспламенения может и не быть при использовании высокооктановых топлив, например, водных растворов этанола.

В сравнении с дизелями такая схема организации рабочего процесса имеет следующие преимущества:

1. Устраняются ограничения по нижнему пределу степени сжатия, верхнему пределу частоты вращения коленчатого вала и цетановому числу топлива, характерные для дизельных двигателей. В унифицированном рабочем процессе, в отличие от дизелей, самовоспламенение – лишь сопутствующий, но не обязательный фактор. Поэтому многотопливность может быть реализована при значительно более низких, чем в многотопливных дизелях, степенях сжатия, а параметры двигателя не ограничиваются сравнительно медленными химическими процессами, которые приводят к самовоспламенению и сильно зависят от типа топлива, термодинамических условий в рабочей камере и т. п.

2. Возникают условия для более мягкого (сравнимого с бензиновыми двигателями) сгорания на начальном этапе, что дает возмож-

ность использовать более однородные, чем в дизеле, смеси.

3. Появляется определенность и управляемость момента воспламенения и облегчается запуск двигателя при отрицательных температурах.

В работе [2] экспериментально подтверждена возможность организации в двигателе с искровым воспламенением бездетонационного сгорания низкооктановых топлив при степени сжатия 12,5. Установлено, что управление УОВ и моментом подачи искры позволяет управлять степенью неоднородности смеси и тем самым управлять интенсивностью ударных волн.

За рамками рассмотрения в вышеупомянутых работах остались вопросы, касающиеся возможности реализации на частичных нагрузках коэффициентов избытка воздуха, характерных для дизельных двигателей (до  $\alpha \approx 5+6$ ). Между тем, именно эта возможность в значительной степени определяет более высокую топливную экономичность дизелей в условиях эксплуатации по сравнению с двигателями с количественным регулированием мощности (бензиновыми). Поэтому целью данной работы является исследование возможности реализации в предлагаемом рабочем процессе качественно-регулируемой нагрузки.

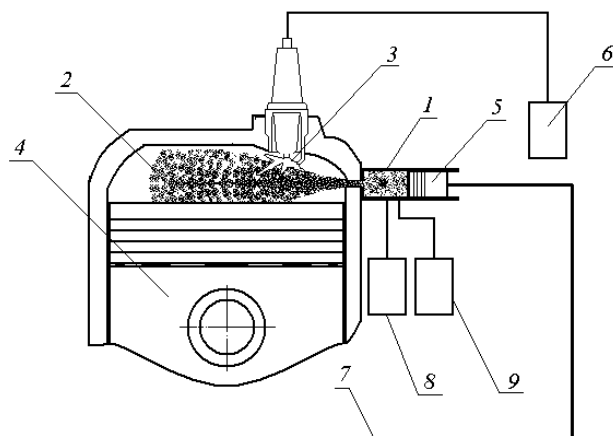
### 3. ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫЙ ДВИГАТЕЛЬ

На рис. 1 представлена схема конструктивной реализации предлагаемого рабочего процесса. Топливо с небольшим количеством воздуха поступает в полость компрессор-форсунки 1, где происходит предварительная стадия смесеобразования – подогрев, дробление, перемешивание и частичное испарение топлива. Поршень 5 компрессор-форсунки приводится в движение от коленчатого вала двигателя. На такте сжатия за счет движения поршня компрессор-форсунки происходит впрыск топливовоздушного факела 2 в рабочую камеру двигателя, в которой окончательно формируется топливовоздушная смесь (ТВС). Зажигание смеси осуществляется искровым разрядом 3 от свечи зажигания на периферии топливовоздушного факела. Компрессор-форсунка оснащена необходимыми устройствами для дозирования топлива 8 и воздуха 9 в зависимости от рабочего объема двигателя и режима его работы. Система зажигания имеет традиционную конструкцию и параметры разряда, характерные для современных бензиновых двигателей.

Рабочий процесс реализован на базе двухтактного двигателя ТМЗ-200М. На экспериментальном двигателе имеется возможность регулирования степени сжатия, углов опережения зажигания и впрыска, местоположения искрового зазора свечи зажигания.

В соответствии с результатами численного эксперимента [1], степень сжатия принята равной 12,5. Согласно этой работе, увеличение степени сжатия выше данного значения не вызывает роста эффективного КПД двигателя.

В качестве режима работы ДВС выбран холостой ход, так как на этом режиме достигается максимальный коэффициент избытка воздуха. Воспламенение и последующее сгорание смесей с высоким коэффициентом избытка воздуха будет возможно, если организовать воспламенение топливовоздушной струи, еще не успевшей распространиться по всему объему камеры сгорания, т. е. предварительно не перемешанной (или частично перемешанной) смеси. Степень расслоения топливовоздушного заряда к моменту воспламенения тем больше, чем ближе воспламенение к началу впрыска.



**Рис. 1.** Схема конструкции для реализации унифицированного рабочего процесса: 1 – компрессор-форсунка; 2 – факел обогащенной ТВС; 3 – искровой разряд; 4 – поршень; 5 – поршень компрессор-форсунки; 6 – коммутатор системы зажигания; 7 – привод компрессор-форсунки от вала двигателя (условно); 8, 9 – устройства дозирования топлива и воздуха для компрессор-форсунки

Близкое расположение форсунки и свечи зажигания в данной концепции требует очень точного расположения искрового зазора, в районе которого в момент воспламенения должна

быть смесь, близкая к стехиометрической. Поэтому в процессе экспериментов по определению максимально возможного коэффициента избытка воздуха наряду с углами опережения впрыска подбиралось и местоположение искрового разряда. Свеча зажигания располагалась на расстоянии 10 мм от распылителя в направлении его оси. Расстояние от оси до искрового зазора изменялось ввинчиванием или вывинчиванием свечи зажигания.

Эксперименты проводились на бензине, дизельном топливе и водном растворе этилового спирта (50 % об.).

#### 4. РЕЗУЛЬТАТЫ И ОБСУЖДЕНИЕ

В таблице представлены углы опережения зажигания и впрыска, на которых достигается максимальное обеднение и стабильное воспламенение топливовоздушного факела при работе двигателя на холостом ходе на бензине, дизельном топливе и водном растворе этилового спирта.

Под углом опережения впрыска понимается угол опережения ВМТ компрессор-форсунки относительно ВМТ двигателя. Положение искрового разряда не зависело от применяемого топлива. Значение коэффициента избытка воздуха, приведенное в таблице для случая использования 50 %-го этанола, пересчитано на дозу чистого этанола, содержащегося в растворе.

Измерение расхода воздуха на впуске в двухтактный двигатель не может дать информацию о количестве воздуха, оставшегося в цилиндре в момент закрытия органов газообмена, поскольку значительное количество воздуха выбрасывается в выпускной трубопровод и не участвует в рабочем процессе. Поэтому коэффициент избытка воздуха определялся расчетом, для чего значение коэффициента наполнения принималось равным  $\sim 0,42$  (значение серийного двигателя). В этих условиях в объеме рабочей камеры содержится значительное количество отработавших газов (более 30 % от количества воздуха). При установке экспериментальной головки цилиндра форма камеры сгорания не согласовывалась с движениями воздуха при продувке. Поэтому действительное значение коэффициента наполнения, возможно, было ниже указанного. В связи с этим, значения коэффициентов избытка воздуха, приведенные в таблице, следует считать заниженными, не достаточно отражающими действительные возможности рабочего процесса. Для получения более полных данных о возможности реализа-

ции качественного регулирования в унифицированном рабочем процессе необходимо исследование на четырехтактном двигателе.

Таблица  
Результаты испытаний на холостом ходе

Топливо	УОВ, град. п.к.в.	УОЗ, град. п.к.в.	$n$ , об/мин	Цик- ловая доза, мм <sup>3</sup>	$\alpha$
Бензин Аи-92	45	30	1900	2,6	3,7
Диз. топливо	45	30	2250	2	4,3
Этанол (50 % об.)	75	30	1400	7,8	3,8
Бензин (серийный вариант)	–	30	2100	4	–

### ВЫВОДЫ

1. В унифицированном рабочем процессе обеспечивается надежное воспламенение бензина, дизельного топлива и водного раствора этанола (с содержанием воды до 50 %);

2. Воспламенение этих видов топлив обеспечивается в условиях глубокого расслоения рабочей смеси (до  $\alpha \approx 3,7-4,3$ ) искровым разрядом без необходимости повышения его энергии.

### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Еникеев Р. Д., Гарипов М. Д. Рабочий процесс перспективного поршневого ДВС // Вестник УГАТУ. 2006. Т. 7, № 3. С. 12–22.

2. Гарипов М. Д. Исследование возможности реализации многотопливного рабочего процесса в ДВС со степенью сжатия 12,5 // Вестник УГАТУ. 2010. Т. 14, № 1(36). С. 20–24.

### ОБ АВТОРЕ

Гарипов Марат Данилович, доц. каф. двигателей внутр. Сгорания. Дипл. магистр техники и технологий (УГАТУ, 1999). Канд. техн. наук по тепловым двигателям (УГАТУ, 2004). Иссл. в обл. перспективных рабочих процессов ДВС, биотоплив.