

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Гриценко Е.А., Орлов В.Н., Постников А.М., Цыбизов Ю.И. Снижение выбросов NO_x при конвертации авиационных двигателей. // Теплоэнергетика -1998. -№ 3.
2. Вопросы отработки экологических характеристик и надежности камер сгорания ГТД наземного применения / Епейкин Л.Ф., Крыжановский А.И., Лавров В.Н. и др. // Вестник СГАУ Сер. Процессы горения, теплообмена и экология тепловых двигателей. Вып. 1, Самар. Гос. аэрокосм. ун-т, Самара, 1998, - С. 136-141.
3. Бесчастнов М.В.. Промышленные взрывы. Оценка и предупреждение. -М.: Химия, 1991.
4. Лефевр А.Х. Процессы в камерах сгорания ГТД. -М.: Мир, 1986. -566с.

УДК 621.43

ПРЕДЕЛЫ СТАБИЛЬНОГО СГОРАНИЯ БЕНЗОВОЗДУШНЫХ СМЕСЕЙ С ДОБАВКАМИ В ДВС

Русаков М.М., Ахремочкин О.А., Шайкин А.П., Пелипенко В.Н.

*Тольяттинский политехнический институт,
Тольяттинский региональный научный центр «Ноосферные знания
и технологии» РАЕН, г. Тольятти*

В настоящее время обеспечение современных требований по токсичности отработавших газов (ОГ) двигателей внутреннего сгорания (ДВС) достигается тремя основными способами:

- рециркуляцией ОГ в свежую топливовоздушную смесь (ТВС);
- применением систем впрыска;
- использованием в системе выпуска ОГ каталитических нейтрализаторов.

Общеизвестно, что рециркуляция ОГ в количестве, необходимом для эффективного подавления эмиссии окислов азота (NO_x), приводит к ухудшению условий сгорания ТВС и возрастанию концентрации оксида углерода (СО) и несгоревших углеводородов (СН). Использование каталитических нейтрализаторов ведёт к увеличению гидравлического сопротивления выпускной системы, снижает эффективную мощность двигателя и повышает удельный расход топлива. Кроме того, дальнейшее ужесточение норм по токсичности ОГ в будущем не сможет быть обеспечено этими способами.

В качестве альтернативных способов рассматривается возможность работы ДВС на обеднённых ТВС. Сжигание ТВС в цилиндрах двигателя при коэффициенте избытка воздуха $\alpha \geq 1,3$ практически не приводит к выделению окислов азота. Основным препятствием использования обеднённой ТВС в двигателях с искровым зажиганием является неустойчивая работа двигателя при $\alpha > 1,2$. Для увеличения пределов воспламенения используют различные способы, в том числе добавку водорода, имеющего более широкие пределы воспламенения, или кислорода. Эти способы расширяют пределы воспламенения, но одновременно изменяют пределы детонации. В результате диапазон стабильного сгорания (ДСС) изменяется и может уменьшаться. Область стабильного сгорания определяется величиной предела воспламенения со стороны бедных смесей (α_{\max}), величиной предела детонации с противоположной стороны (α_{\min}) и применяемыми в ДВС степенями сжатия (ϵ).

Для оценки возможных пределов стабильной работы ДВС были проведены исследования на одноцилиндровой установке УИТ - 85. Установка имеет цилиндр диаметром 85 мм и позволяет изменять ϵ и состав ТВС в широких пределах. Топливом служил бензин АИ - 93. При проведении опытов с добавками водорода и кислорода эти газы подавались во впускную трубу перед диффузором карбюратора через сменные жиклёры под давлением 100 - 600 мм. вод. столба. Количество водорода составляло 1,7 и 6% от количества топлива по массе, а кислорода 1,4 и 8% от массы воздуха. Для оценки влияния на пределы воспламенения и детонации рециркуляции отработавших газов были проведены опыты по добавке в ТВС двуокиси углерода (CO_2). Результаты испытаний представлены на рис. 1,

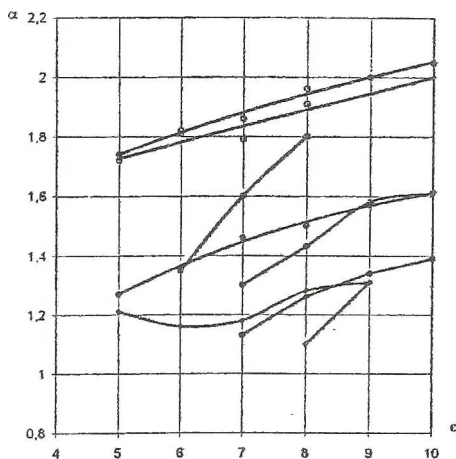


Рис. 1. Пределы воспламенения и детонации ТВС с добавками:

- - АИ - 93; ○ - АИ - 93 + 6% H₂;
- ◆ - АИ - 93 + 10,4% CO₂;
- - АИ - 93 + 8% O₂

Верхние кривые - пределы воспламенения,
нижние - пределы детонации.

Диапазон стабильного сгорания

$$\text{ДСС} = \alpha_{\max} - \alpha_{\min}$$

2, 3 и 4.

Испытания показали, что при добавке водорода предел детонации растёт медленнее, чем предел воспламенения. Диапазон стабильного сгорания расширяется при всех степенях сжатия. При увеличении концентрации водорода происходит расширение ДСС (рис.2). При добавке кислорода предел детонации растёт быстрее, чем предел воспламенения. Диапазон стабильного сгорания суживается, и при $\epsilon > 9$ область стабильного сгорания отсутствует (рис.2).

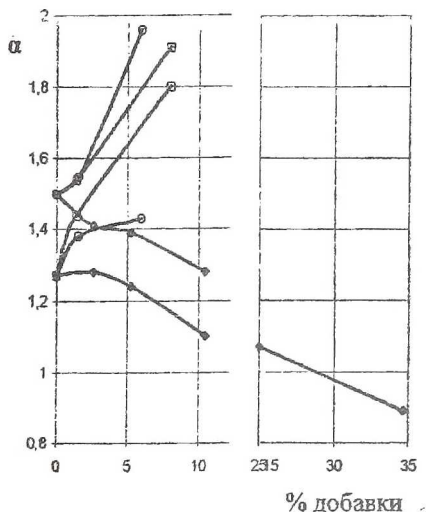


Рис. 2. Пределы воспламенения и детонации в зависимости от величины добавки: \circ - H₂; \square - O₂; \blacklozenge - CO₂

этой реакции расходуется ~ 80% молекулярного кислорода.

Большое влияние на стадии разветвления цепи, особенно для бедных смесей, имеет реакция

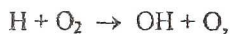


вызывающая быстрое распространение пламени.

По Варнатцу [1] горение углеводородов, по крайней мере бедных и незначительно обогащённых смесей, определяется стадиями, не зависящими от природы топлива



Эффект добавки водорода может быть объяснён с позиций цепного механизма реакций горения углеводородных смесей, в которых вступление в реакцию одного атома водорода приводит на выходе к образованию трёх атомов водорода. В соответствии с [1] возможность обеднения смеси при добавке водорода достигается увеличением количества реакций



определяющих главный процесс разветвления цепи при высокомолекулярном горении. В ходе

При обеднении смеси с $\alpha = 1,1$ до $1,7$ и добавке 4% H_2 по массе в ТВС его количество в бензине воздушной смеси остаётся таким же, как и до обеднения. Так как водород вводится в ТВС в молекулярном виде, то устойчивую работу двигателя при обеднении смеси до $\alpha = 1,6...1,7$ можно обеспечить и при меньших добавках H_2 . То есть существует возможность увеличения скорости распространения пламени при добавке H_2 в ТВС, несмотря на обеднение смеси и, следовательно, сохранение высокой полноты сгорания.

На рис. 3 показаны пределы воспламенения ТВС с добавкой водорода и углекислого газа при $\epsilon = 8$ от содержания CO_2 . Углекислый газ в опытах подавался в количестве от 0 до 35% от массы воздуха, содержание водорода при этом изменялось от $1,2$ до $1,9\%$. С увеличением подачи в ТВС углекислого газа коэффициент α на пределах воспламенения плавно снижается от $1,4$ до $0,9$. Добавки водорода отодвигают пределы воспламенения ТВС с добавками углекислого газа в область более бедных смесей. Полученные результаты имеют хорошую сходимость с данными Бугрова [2], по которым увеличение концентрации остаточных газов в цилиндре до 50% может привести к прекращению распространения пламени.

При незначительной добавке водорода и добавке CO_2 можно снизить температуру продуктов сгорания в цилиндре и уменьшить тем самым концентрацию окислов азота. На рис. 4 представлены результаты испытаний при добавке в ТВС

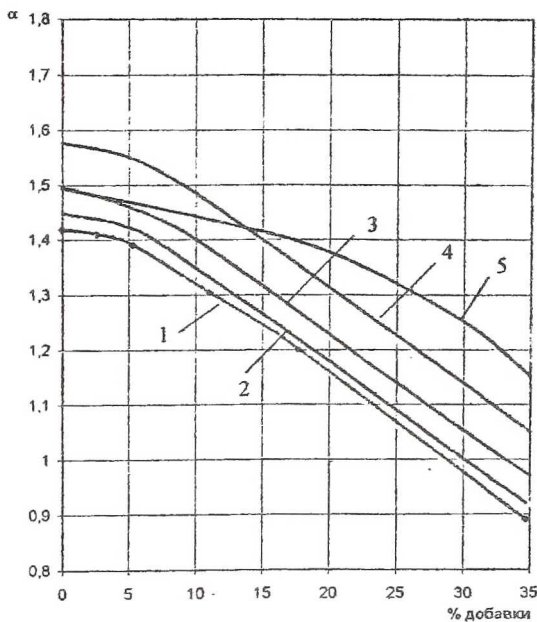


Рис. 3. Пределы воспламенения и детонации ТВС с комбинированной добавкой ($H_2 + CO_2$):

- 1 - ТВС + CO_2 ;
- 2 - ТВС + CO_2 + $1,2\%$ H_2 ;
- 3 - ТВС + CO_2 + $1,5\%$ H_2 ;
- 4 - ТВС + CO_2 + $1,9\%$ H_2 ;
- 5 - ТВС + остаточные газы [2]

1,2% H_2 и 5,3% CO_2 . Из рисунка видно, что указанные добавки обеспечивают диапазон стабильного сгорания примерно такой же, как у чистой бензовоздушной смеси. Добавка CO_2 в ТВС приводит к снижению температуры в цилиндре за счёт уменьшения количества заряда. Кроме этого возможно некоторое уменьшение скорости распространения пламени и, следовательно, полноты сгорания.

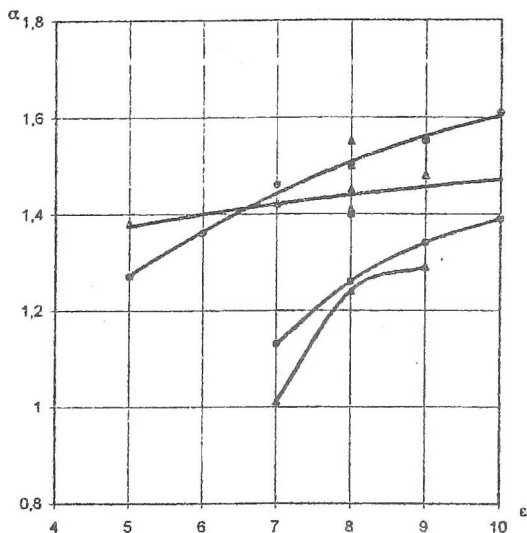


Рис. 4. Пределы воспламенения и детонации ТВС:

- - АИ - 93;
- ▲ - АИ - 93 + CO_2 + H_2 ;
- Δ - АИ - 93 + 5,2% CO_2 + 1,2% H_2

Предварительное обеднение смеси и добавка H_2 обеспечит ещё большее снижение токсичности ОГ, особенно по оксидам азота. При этом ожидается снижение удельного расхода топлива на 5–10% за счёт сохранения высокой полноты сгорания на всех режимах работы двигателя.

Проведённые исследования показали, что наиболее перспективным путём обеднения ТВС является добавка водорода в незначительном количестве, до 0,4–1% на режиме холостого хода и малых нагрузок. Как показали испытания двигателя ВАЗ - 1111 [3], при таких добавках водорода содержание токсичных компонентов в ОГ снижается: CO на 60...90%, CH на 20...40%, NO_x на 25...30%. Необходимо отметить, что двигатель работал при заводской регулировке системы холостого хода.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Химия горения. / Под редакцией У. Гардинера. - М.: Мир, 1988/
2. Звонов В.А. Токсичность двигателей внутреннего сгорания. - М.: Машиностроение, 1981.
3. Токсичность отработавших газов ДВС при добавке водорода / Бортников Л.Н., Русаков М.М., Пелипенко В.Н. и др. // Проблемы развития автомобилестроения в России. - Тольятти, 1997.