

ОПРЕДЕЛЕНИЕ ВОЗМОЖНОГО УРОВНЯ СНИЖЕНИЯ СОДЕРЖАНИЯ ОКСИДОВ АЗОТА В ОТРАБОТАВШИХ ГАЗАХ ДВС С КОМБИНИРОВАННЫМИ ДОБАВКАМИ

Русаков М.М., Шайкин А.П., Пелипенко В.Н., Лазунин В.И.

Тольяттинский политехнический институт

Рециркуляция отработавших газов (ОГ) является одним из наиболее простых и достаточно эффективных способов снижения содержания оксидов азота (NO) в выбросах ДВС. Однако рециркуляция ОГ в количестве, необходимом для эффективного подавления эмиссии NO , приводит к ухудшению условий сгорания топливоздушнoй смеси (ТВС) и возрастанию концентраций оксида углерода (CO) и углеводородов (CH). С другой стороны известно, что сгорание бедных ТВС с коэффициентом избытка воздуха $\alpha > 1,3$ практически не приводит к образованию NO . Однако использованию бедных ТВС препятствует то, что при $\alpha > 1,2$ ДВС с искровым зажиганием работает неустойчиво. Для увеличения пределов воспламенения бедных ТВС и обеспечения устойчивой работы ДВС рекомендуется вводить водород [1-2].

Нами исследовалось воздействие на пределы воспламенения бедных ТВС добавок: двуокиси углерода (CO_2), водорода (H_2) и $CO_2 + H_2$ [2]. Добавка CO_2 имитировала рециркуляцию ОГ. Использование CO_2 обуславливалась тем, что подачу CO_2 достаточно просто организовать и легко фиксировать её расход и температуру. Водород вводился в количестве 1,2; 1,5 и 1,9% от расхода топлива. Добавки водорода являлись компенсирующими, т.к. вводились для сохранения пределов воспламенения ТВС, которые снижаются при подаче CO_2 . Исследования проведены на установке УИТ – 85 при степени сжатия $\varepsilon = 8$ и использовании бензина АИ – 93. Углекислый газ и водород подавались при температуре окружающей среды. Результаты опытов представлены на рис. 1.

Из рис.1 видно, что введение CO_2 снижает предел воспламенения бензовоздушной смеси с $\alpha = 1,42$ до $\alpha = 0,89$ при изменении расхода CO_2 от 0 до 35% (кривая 1, расход $H_2 = 0$). Добавки водорода увеличивают пределы воспламенения ТВС (кривые 2, 3 и 4). Причем граница предела воспламенения в зависимости от величины добавки водорода

расслаивается эквидистантно. При расходе $CO_2 = 0$ предел воспламенения бензовоздушной смеси возрастает с $\alpha = 1,42$ до $\alpha = 1,57$ при добавке $H_2 = 1,9\%$. Полученные результаты позволяют выбирать рабочие режимы в области бедных ТВС при добавках водорода и проводить необходимые расчеты и оценки.

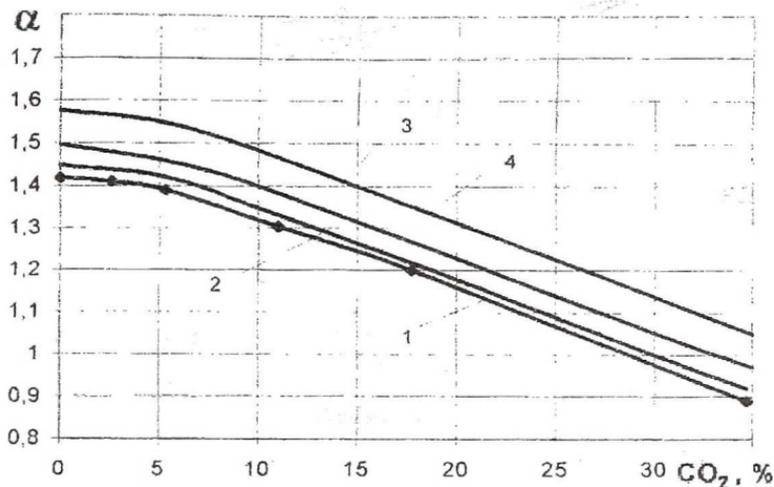


Рис. 1. Пределы воспламенения ТВС с комбинированной добавкой: 1 - ТВС + CO_2 ; 2 - ТВС + CO_2 + 1,2% H_2 ; 3 - ТВС + CO_2 + 1,5% H_2 ; 4 - ТВС + CO_2 + 1,9% H_2

Для оценки возможного уровня снижения содержания оксидов азота в ОГ при рециркуляции и компенсирующей добавки водорода были проведены оценочные расчёты снижения температуры сгорания и содержания оксидов азота в ОГ для нескольких случаев:

а) снижение температуры при :

- рециркуляции ОГ при $T = 293$ К и $T = 950$ К ,
- добавке CO_2 при $T = 293$ К и $T = 950$ К ,
- рециркуляции ОГ + добавка H_2 при $T = 293$ К и $T = 950$ К ;

б) относительное снижение окислов азота $NO_{рец.}/NO$ при:

- рециркуляции ОГ при $T = 293$ К и $T = 950$ К ,
- рециркуляции ОГ + добавка H_2 при $T = 293$ К и $T = 950$ К .

На рис.2 представлены расчётные зависимости температуры сгорания T_z от величины добавки CO_2 или рециркуляции ОГ при степени

сжатия $\epsilon = 8$ и коэффициенте $\alpha = 1,32$ для случаев холодной (х) и горячей (г) рециркуляции. При расчетах принято, что водород вводится для

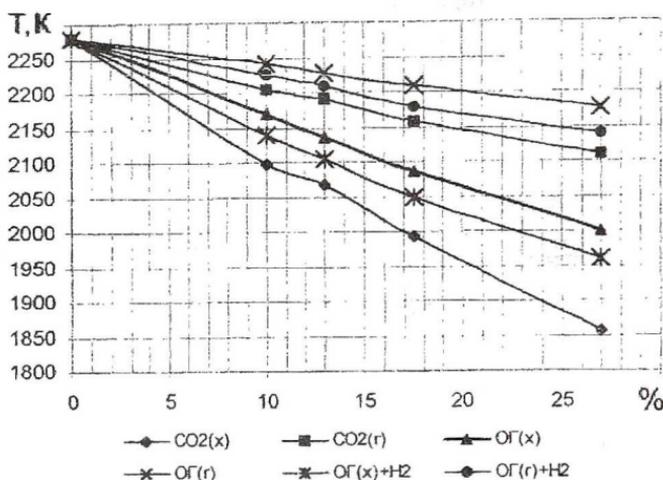


Рис. 2. Зависимость температуры сгорания ТВС от процента рециркуляции или добавок

обеспечения устойчивого воспламенения ТВС вблизи бедной границы по данным рис. 1. Тепловой расчёт выполнен по формулам [3]. При учёте добавки CO_2 или ОГ их количество приводили к количеству остаточных газов в цилиндре:

$$M_{\Gamma} = \gamma_{\Gamma} \cdot M_1 + \alpha \cdot L_0 \cdot \%ОГ / 100,$$

где M_1 – количество свежей ТВС, кмоль горючей смеси / 1 кг топлива; γ_{Γ} – коэффициент остаточных газов; L_0 – теоретически необходимое количество воздуха для сгорания 1 кмоль бензина; $\%ОГ$ – процентное содержание добавки CO_2 или ОГ от количества поступившего в цилиндр воздуха.

Температуры впуска и сжатия корректировались в зависимости от температуры рециркуляции. Коэффициент молекулярного изменения рабочей смеси рассчитывали по формуле:

$$\mu = \frac{M_2 + M_{\Gamma}}{M_1 + M_{\Gamma}},$$

где M_2 – количество продуктов сгорания ТВС.

Мольные теплоёмкости при добавке CO_2 определяли по формуле:

$$m_{cv} = \sum r_i \cdot m_{cv_i},$$

где m_{cv} , r_i – средняя мольная теплоёмкость и доля i -го компонента газовой смеси.

Из рис.2 следует, что холодная рециркуляция эффективнее снижает температуру сгорания, чем горячая, а добавка CO_2 снижает температуру в большей степени, чем рециркуляция ОГ. Это объясняется тем, что мольная теплоёмкость CO_2 выше теплоёмкости ОГ. Добавка H_2 к холодным и горячим ОГ несколько увеличивает температуру сгорания. Следует отметить, что изменение температуры сгорания при добавке водорода учитывали прибавлением температурной добавки от сгорания водородовоздушной смеси и вычитанием температурной составляющей от бензовоздушной смеси, замещённой водородовоздушной смесью. Оценочный расчёт показал, что при добавлении водорода температура сгорания незначительно снижается. Видимо это связано с тем, что добавка 1,9 % водорода от массы бензина замещает около 6% бензина при той же величине коэффициента α .

На рис.3 показаны расчётные зависимости относительного сниже-

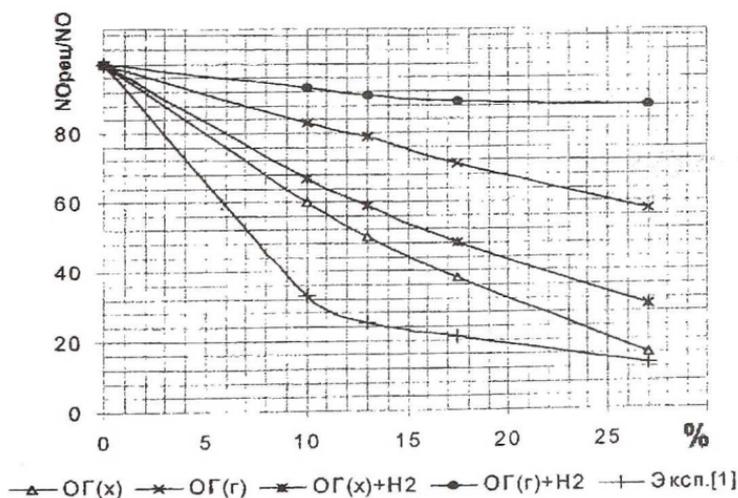


Рис. 3. Зависимость относительного снижения содержания оксидов азота от процента холодной (х) и горячей (г) рециркуляции ОГ и добавки водорода

ния содержания оксидов азота ($NO_{\text{рецикл}}/NO$) в ОГ от величины процента холодной и горячей рециркуляции. Из этих зависимостей видно, что при 25% рециркуляции горячих ОГ на пределе воспламенения $\alpha = 1,32$ содержание оксидов азота в ОГ снижается также, как при рециркуляции 19% горячих ОГ + 1,9% H_2 . Холодная рециркуляция приводит к более значительному снижению как величины максимальной температуры сгорания, так и содержания оксидов азота. Так при добавке 19% холодных ОГ и 1,9% водорода концентрация оксидов азота снизится приблизительно в два раза по сравнению с добавкой горячих ОГ при этих же условиях. Нижняя кривая построена по экспериментальным данным работы [1], поэтому в реальных условиях есть основания ожидать более значительного снижения содержания оксидов азота.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. З в о н о в В.А. Токсичность двигателей внутреннего сгорания. – М.: Машиностроение, 1981. — 160 с.
2. Пределы стабильного сгорания бензовоздушных смесей с добавками в ДВС/ Р у с а к о в М.М. и др.// Вестн. СГАУ. Сер.: Процессы горения, теплообмена и экология тепловых двигателей. Вып. 2; Самар. гос. аэрокосм. ун-т, Самара, 1998. – С.144 – 148.
3. К о л ч и н А.И., Д е м и д о в В.П. Расчет автомобильных и тракторных двигателей. – М.: Высшая школа, 1980. – 400 с.

УДК 621.45.015.2; 629.7.036.5.015.3

ИМПУЛЬСНЫЕ НАГРУЗКИ НА ПЕРЕХОДНЫХ РЕЖИМАХ ВЫСОКОТЕМПЕРАТУРНОГО ПРОЦЕССА В КАМЕРАХ СГОРАНИЯ

Рудницкий А.М.

АО СНТК им. Н.Д. Кузнецова, г. Самара

Отработка запуска высоконапряженных камер сгорания (ВНКС) показала, что процесс воспламенения топлива представляет собой сложное явление, при неудовлетворительном протекании которого может повредиться конструкция этого устройства, [1].