

УДК 621.438:536.38

ИССЛЕДОВАНИЕ ЭМИССИИ ТОКСИЧНЫХ ВЕЩЕСТВ ПРИ ВПРЫСКЕ ВОДЫ В КАМЕРУ СГОРАНИЯ

© 2011 Б. Г. Мингазов, Т. Х. Мухаметгалиев

Казанский государственный технический университет имени А.Н. Туполева
(национальный исследовательский университет)

Рассматриваются вопросы влияния впрыска воды на эмиссионные характеристики камер сгорания ГТД. Основной целью данных исследований явилась оценка влияния впрыска воды в зону горения КС на полноту сгорания и выбросы NO_x , CO , CH_4 . В исследованиях был проведен комплекс опытов по определению экологических характеристик КС при впрыске воды в зону горения. Приведён сравнительный анализ различных способов подвода воды в камеру сгорания.

Газотурбинные установки, камера сгорания, эмиссия, впрыск пара, эмиссионные характеристики, полнота сгорания, зона горения.

В настоящее время широкое распространение получили энергетические установки на базе авиационных газотурбинных двигателей. Однако в условиях ужесточения требований по экологической безопасности таких установок приходится искать пути снижения выбросов загрязняющих веществ в окружающую среду. Как известно, основным источником загрязняющих веществ является камера сгорания, где происходят сложные процессы во время сгорания топлива. Существует несколько методов снижения уровня вредных выбросов, каждый из которых имеет свои преимущества и недостатки. К ним относятся, в том числе, и подвод воды или пара в зону горения, который по экономическим параметрам является привлекательным с точки зрения применения в наземных установках по суммарному уменьшению выброса NO_x и экономическим затратам.

На рис. 1 показано, что впрыск воды или пара (поз. 2, 3) позволяет существенно снижать концентрацию NO_x при небольших затратах.

Основной целью данных исследований явилась оценка влияния впрыска воды в зону горения КС на полноту сгорания и выбросы NO_x , CO , CH_4 . В исследованиях был проведён комплекс опытов по определению экологических характери-

стик КС при впрыске воды в зону горения. Исследования проводились в камере сгорания, приведённой на рис. 2.

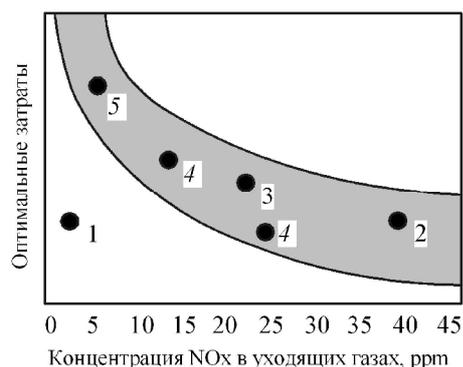


Рис. 1. Экономичность методов снижения NO_x в промышленных ГТУ: 1 – каталитическая камера сгорания; 2 – впрыск воды; 3 – впрыск пара; 4 – сжигание по принципу LPP; 5 – сжигание по принципу LPP + селективная каталитическая азотоочистка продуктов сгорания

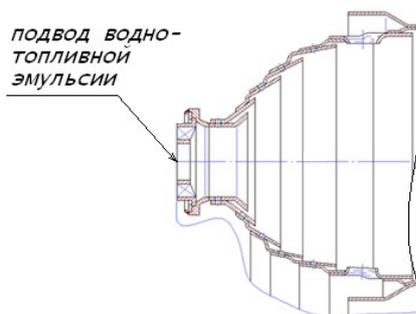


Рис. 2. Исследуемая камера сгорания

Вода подавалась в зону горения различными способами:

- а) с помощью специальной струйной форсунки;
- б) через один из каналов двухканальной центробежной топливной форсунки;
- в) через отдельную форсунку.

Исследования полноты сгорания топлива при указанных способах подачи воды в зону горения показали, что наиболее эффективным, с точки зрения обеспечения высоких полнот сгорания, является третий способ – подача водно-топливной эмульсии. Сравнение результатов различных источников приведены на рис. 3.

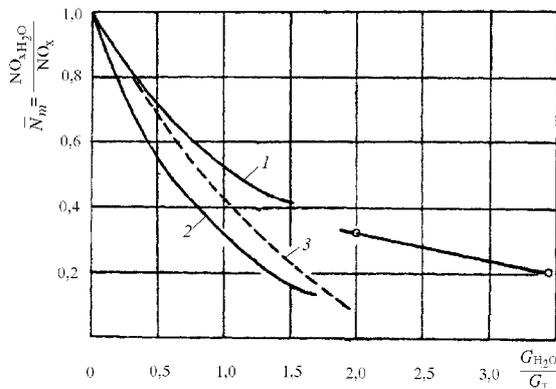


Рис. 3. Влияние впрыска воды на уровень выброса NO_x : 1 – на входе в КС; 2 – в первичную зону КС [2]; 3 – через фронтальные устройства (данные ВТИ); о – испытание КС при $\alpha_k = 1,5$; $T_k^* = 530$ К; $I_k = 0,27$

На рис. 4 показаны полнотные характеристики камеры при подаче заранее приготовленной в специальном эмульгаторе водно-топливной эмульсии через общую форсунку. Из приведённых графиков следует, что существует некоторое оптимальное соотношение вода–топливо, при котором достигается наиболее эффективное горение топливно-воздушной смеси.

Исследования показали, что в некоторых режимах работы камеры ($\alpha_k > 3,0$) подача воды в зону горения в соотношении 1/1 даже способствует улучшению процесса горения, в результате чего полнота сгорания несколько повышается (рис. 4).

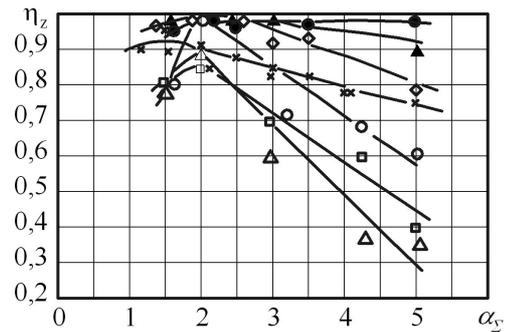


Рис. 4. Характеристики полноты сгорания топлива КС при сжигании водно-топливной эмульсии:

$$\dot{a} = \frac{G_{H_2O} 100}{G_{B_Σ}} = 2,7\%; \cdot - 3,45\%; o - 3,84\%;$$

$$\blacktriangle - 4,3\%; \square - 5,6\%; \triangle - 7,2\%; \prime - 0\%;$$

$G_B = 0,7, 0,8$ кг/с; $T_k^* = 530, 550$ К; $I_k = 0,27-0,28$

Этот факт можно объяснить тем, что происходит некоторое улучшение процесса смесеобразования, связанное с повышением давления подачи топливно-водяной смеси. При работе камеры на бедных смесях $\alpha = 3.0-5.0$, соответственно при низких давлениях подачи топлива. Однако одновременно с этим снижается температура в зоне горения на величину, пропорциональную теплоотводу на нагрев и испарение подаваемой воды.

Из приведённых на рис. 5 графиков следует, что температура газа в КС может существенно снизиться, так как теплоёмкость водяного пара почти в два раза превышает теплоёмкость воздуха. В результате такого снижения температуры газа в зоне горения получено существенное уменьшение выброса NO_x в КС при разных соотношениях подачи воды и топлива. Во всем диапазоне изменения α впрыск воды снижает выход NO_x примерно в 2-3 раза (рис. 6, в).

В то же время выброс других токсичных компонентов, таких, как СО и C_xH_y , по-разному зависит от впрыска воды в зону горения. На рис. 7, а, б приведены графики выделения СО и НС при разных режимах работы по α и расходах воды.

Переохлаждение зоны горения в результате впрыска воды приводит к торможению химической реакции и вследствие этого к увеличению выброса СО. С

другой стороны, впрыск воды может несколько улучшить смесеобразование и соответственно ускорить процесс горения, что способствует уменьшению СО.

Указанные факторы действуют в противоположном направлении на выброс СО и НС и могут привести на некоторых режимах работы к появлению минимальных значений выброса указанных компонентов. Это обстоятельство подтверждается при рассмотрении результатов измерений СО и C_xH_y в КС при впрыске воды. Выделение C_xH_y протекает с минимумом по α . Наблюдается резкое увеличение выброса при "обеднённых" и "переобогащённых" режимах работы камеры. Аналогичные исследования токсичности выхлопных газов, в частности выброса NO_x , были проведены на натурных двигателях. Измерения, проведённые на двигателе, показали, что впрыск воды в КС позволяет снизить выброс NO_x при сохранении достаточно

высокого уровня полноты сгорания $\eta=0,99$ (рис. 4).

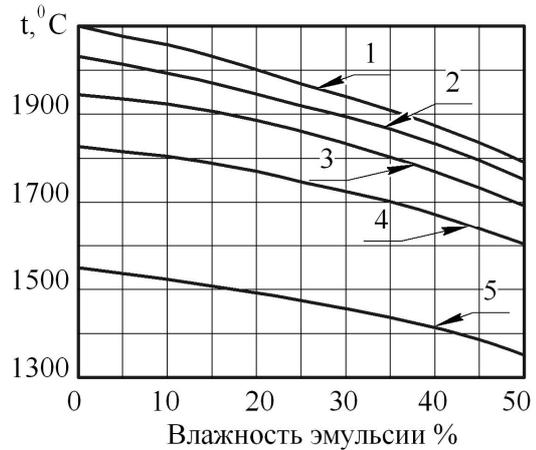


Рис. 5. Зависимость теоретической температуры горения эмульсий мазута М-60 от влажности при различных коэффициентах избытка воздуха (температура воздуха $t = 0^\circ C$): 1 - $\alpha_k = 1,00$; 2 - $\alpha_k = 1,05$; 3 - $\alpha_k = 1,1$; 4 - $\alpha_k = 1,2$; 5 - $\alpha_k = 1,5$

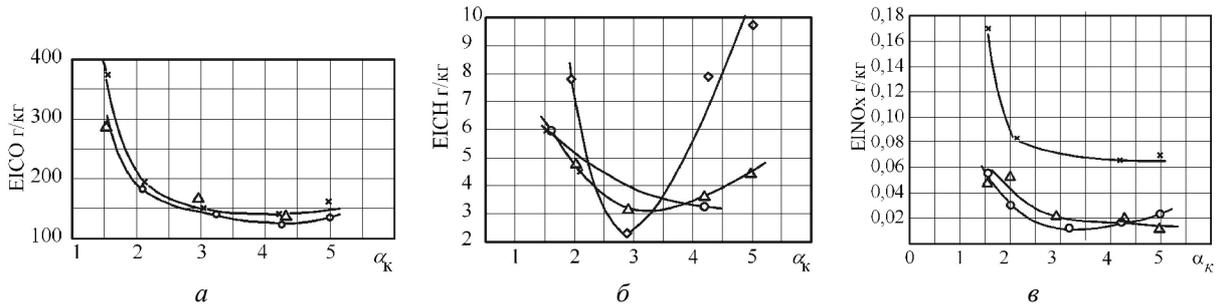


Рис. 6. Значения индексов эмиссии СО, CH_4 и NO_x на выходе из четырехгорелочного отсека:

$$o - \frac{G_{H_2O}}{G_B} = 3,84\%; \Delta - 5,6\%; \hat{a} - 7,2\%; \acute{c} - 0\%; G_B = 0,7-0,8 \text{ кг/с}; T_K^* = 530-550 \text{ К}; I_K = 0,27-0,28$$

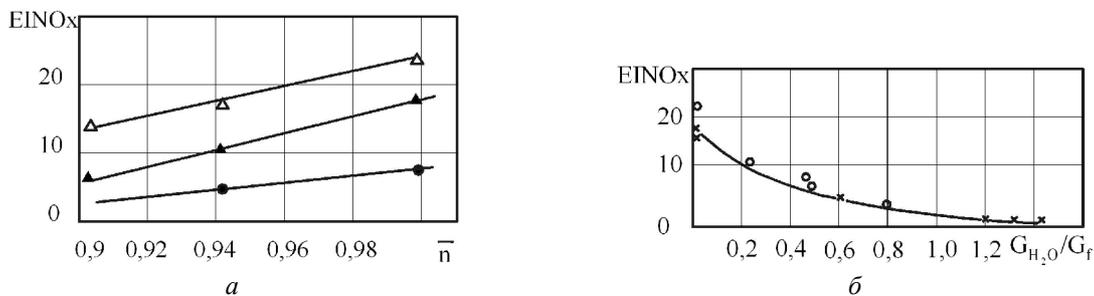


Рис. 7. Эмиссия NO_x в двигателе при разных способах впрыска воды в КС:

а - влияние режима работы двигателя:

Δ - без впрыска воды; \blacktriangle - раздельный впрыск воды и топлива; \bullet - впрыск водно-топливной эмульсии;

б - влияние относительного впрыска воды на эмиссию NO_x :

\acute{c} - $\eta = 0,95$; o - $\eta = 0,99$

Таким образом, существует достаточно эффективный способ уменьшения выброса NO_x – впрыск воды или пара в зону горения. Данный способ используется на практике в энергетических установках наземного применения.

Библиографический список

1. Мингазов, Б.Г. Камеры сгорания газотурбинных двигателей. Конструкция, моделирование процессов и расчёт [Текст] : учебное пособие / Б.Г. Мингазов. – Казань: Изд-во Казан. гос. техн. ун-та, 2004. – 220 с.
2. Лефевр, А. Процессы в камерах сгорания ГТД [Текст] / А. Лефевр. – М.: Мир, 1986. – 566 с.
3. Постников, А.М. Снижение оксидов азота в выхлопных газах ГТУ [Текст]/А. М. Постников. – Издательство Самарского научного центра РАН, 2002. – 286 с.

4. Ольховский, Г.Г. Разработки перспективных энергетических ГТУ / Г.Г. Ольховский // – Теплоэнергетика. - 1996. - № 4. - С. 66—75.

5. Новиков, А.С. Разработки АО «Рыбинские моторы» для стационарной энергетики [Текст] / А.С.Новиков, Ю.С. Миронов, Ю.А. Шинкарев и др. // Теплоэнергетика, 1998. - № 4. - С. 20-27.

6. Христин, В.А. Газотурбинные двигатели и защита окружающей среды [Текст] / В.А. Христин, А.С. Тумановский. - Киев: Техника, 1983. – 144 с.

7. Валиев, Ф.М. Исследование закономерностей образования токсичных веществ в пламени [Текст] / Ф.М. Валиев, А.В. Талантов, В.А. Щукин // Изв. вузов. Авиационная техника, 1981. - № 3. - С. 27–34.

8. Полетаевкин, П.Г. Парогазотурбинные установки [Текст] / П. Г. Полетаевкин. - М.: Наука, 1980. - С. 140.

RESEARCH OF TOXIC SUBSTANCES EMISSION DURING WATER INJECTION INTO A COMBUSTION CHAMBER

© 2011 B. G. Mingazov, T. H. Mukhametgaliev

Kazan State Technical University

The results of water injection effect on the emission characteristics of combustion chambers of gas-turbine engines are presented. The prime objective of the research is the assessment of the influence of water injection into the combustion zone on the combustion efficiency and ejections of NO_x , CO , CH_4 . A number of experiments has been made to specify the ecological characteristics of the combustion chamber with water injected into the combustion zone. A comparative analysis of different ways of water injection is given.

Gas turbine plants, combustion chamber, emission, water injection, emission characteristics, combustion efficiency, combustion zone.

Информация об авторах

Мингазов Биалал Галавтдинович, доктор технических наук, профессор, заведующий кафедрой АДЭУ, Казанский государственный технический университет, e-mail: ming@adeu.kstu-kai.ru. Область научных интересов: газотурбинные двигатели, энергетические установки, процессы горения, надежность и диагностика.

Мухаметгалиев Тимур Хатипович, аспирант, Казанский государственный технический университет, e-mail: timcool@bk.ru. Область научных интересов: газотурбинные двигатели, энергетические установки, процессы горения.

Mingazov Bilal Galavtdinovich, doctor of engineering, professor, head of department, Kazan state technical university, e-mail: ming@adeu.kstu-kai.ru. Area of research: gas turbine engines, power installations, combustion processes, reliability and diagnostics.

Mukhametgaliev Timur Hatipovich, post graduate student, Kazan state technical university, e-mail: timcool@bk.ru. Area of research: turbine engines, power installations, combustion processes.