

**НАПРАВЛЕНИЕ**  
**«ПРОЦЕССЫ ГОРЕНИЯ ТРАДИЦИОННЫХ И АЛЬТЕРНАТИВНЫХ**  
**ТОПЛИВ В ДВИГАТЕЛЯХ И ЭНЕРГЕТИЧЕСКИХ УСТАНОВКАХ» /**  
**« COMBUSTION PROCESSES OF TRADITIONAL AND ALTERNATIVE**  
**FUELS IN ENGINES AND POWER PLANTS»**

**ПОДНАПРАВЛЕНИЕ**  
**РАБОЧИЙ ПРОЦЕСС В КАМЕРАХ СГОРАНИЯ**

УДК 621.45.022.7

**ИССЛЕДОВАНИЕ ВЫБРОСОВ ЗАГРЯЗНЯЮЩИХ ВЕЩЕСТВ ГОРЕНИЯ БЕДНЫХ**  
**И УЛЬТРАБЕДНЫХ РЕЖИМОВ МНОГОКОМПОНЕНТНОГО**  
**ВОДОРОДСОДЕРЖАЩЕГО ТОПЛИВА В ПРОТИВОТОЧНОМ ТЕЧЕНИИ**

Комова О.В., Гурьянов А.И.

Рыбинский государственный авиационный технический университет имени П.А. Соловьёва,  
г. Рыбинск, olya.comova2015@yandex.ru

*Ключевые слова: горение, выбросы вредных веществ, коэффициент избытка воздуха, водород, режимы горения.*

Мировой опыт проектирования газотурбинных двигателей (ГТД) показывает, что соответствие камер сгорания экологическим требованиям возможно за счёт применения новых подходов к организации процесса горения. Основа таких подходов состоит в снижении температуры горения во фронте пламени, которая не должна превышать 1850 К, при которой начинается лавинообразный рост скорости образования термических оксидов азота.

Развитие ГТД ведущих мировых производителей основаны на применении нестехиометрического горения в «бедной» области по составу смеси. Характерными особенностями горения углеводородных топлив смеси «бедного» состава вблизи концентрационных пределов срыва при коэффициенте избытка воздуха  $\alpha > 1,8$ , существенно возрастает эмиссия СО и несгоревших углеводородов  $C_xH_y$  [1].

Было проведено исследование влияния добавок многокомпонентного водородсодержащего топлива (МВТ) к метану на эмиссию загрязняющих веществ бедных и ультрабедных режимов горения в противоточном горелочном устройстве (ПГУ).

При 15 % добавлении МВТ к метану сокращается эмиссия оксидов азота  $NO_x$  при горении в условиях ПГУ в 1,5 раза относительно горения чистого метана во всём диапазоне по коэффициенту избытка воздуха. При дальнейшем обеднении смеси значение концентрации  $NO_x$  в продуктах сгорания находится в нуле. Это подтверждает целесообразность применения топливных смесей метана с МВТ для снижения эмиссии оксидов азота  $NO_x$  в перспективных камерах сгорания ГТД.

Существенно снижается концентрация СО и несгоревших углеводородов  $C_xH_y$  при переводе противоточного горелочного устройства с метана на МВТ для коэффициента избытка воздуха в области бедного горения до  $\alpha = 5$ .

В области ультрабедных режимов при коэффициенте избытка воздуха, лежащего в пределах  $5 < \alpha < 18$ , горение МВТ сопровождается значительным увеличением концентрации СО и  $C_xH_y$ . Концентрация несгоревших углеводородов  $C_xH_y$  в диапазоне  $\alpha$  от 5 до 7 растёт монотонно, а при  $\alpha = 7$  начинается лавинообразный рост концентрации  $C_xH_y$ . Горение углеводородов практически прекращается в области ультрабедных смесей, а тепло экзотермической реакции, обеспечивающее устойчивость горения, выделяется при окислении водорода, который входит в состав МВТ.

В ультрабедной области аналогичным образом ведёт себя зависимость концентрации СО от коэффициента избытка воздуха и при  $\alpha \approx 13$  происходит «остановка» реакции окисления СО до СО<sub>2</sub>.

Экспериментальные исследования горения МВТ в ПГУ подтвердили возможность организации ультрабедного горения и обеспечения температуры продуктов сгорания на выходе из ПГУ. При увеличении  $\alpha$  от 4 до 14, температура газов на выходе уменьшается от 1250 °С до 600 °С. При этом режим горения в ПГУ является устойчивым без пульсаций температуры и возникновения механизмов виброгорения.

Работа выполнена в рамках гранта РФФ 22-29-20220.

### Список литературы

1. Guryanov A. I. et al. An experimental study of syngas combustion in a bidirectional swirling flow //International Journal of Hydrogen Energy. – 2023. – V. 48. – №. 11. – P. 4503-4515. <https://doi.org/10.1016/j.ijhydene.2022.11.004>

### Сведения об авторах

Комова О.В. аспирант кафедры общей и технической физики РГАТУ им. П.А. Соловьева. Область научных интересов: исследование мира физики горения.

Гурьянов А.И. доктор, доцент, профессор кафедры общей и технической физики, директор института авиационных технологий и инженерной физики РГАТУ им. П.А. Соловьева.

## INVESTIGATION OF EMISSIONS OF POLLUTANTS FROM THE COMBUSTION OF POOR AND ULTRA-POOR MODES OF MULTICOMPONENT HYDROGEN-CONTAINING FUEL IN A COUNTERCURRENT FLOW

Komova O.V., Guryanov A.I.

Rybinsk State Aviation Technical University named after P.A. Solovyov, Rybinsk,  
olya.comova2015@yandex.ru

*Keywords: fuel combustion, emissions of harmful substances, excess air coefficient, hydrogen, combustion modes.*

A study was carried out on the effect of additives of multicomponent hydrogen-containing fuel to methane on the release of pollutants in poor and super-poor combustion modes in the counterflow.

NO<sub>x</sub> emissions are reduced by 1.5 times. The concentration of CO and C<sub>x</sub>H<sub>y</sub> is significantly reduced with an excess air coefficient up to  $\alpha = 5$ . Fuel combustion is accompanied by a significant increase in the concentration of CO and C<sub>x</sub>H<sub>y</sub> at  $5 < \alpha < 18$ .