

монодисперсной фракцией кластеров среднемассовых размеров, нежели фракцией кластеров наиболее вероятных размеров.

Работа выполнена при поддержке РФФИ: гранты №18-08-00476_a, 17-01-00810_a, 16-29-01098-офи_m.

Список литературы

1. Кулешов П.С. О диспергировании наночастиц алюминия // Горение и взрыв 2019 (принято в печать).
2. Allen D. et al. Heat transfer effects in nano-aluminum combustion at high temperature // Combustion and Flame 161 (2014) 295-302.
3. Kuleshov P.S., Saveliev A.M., Titova N.S., Starik A.M. Modeling study of Al nanoparticle oxidation in CO₂/H₂O environment // 9th International seminar on flame structure 9 ISFS Book of Abstracts. 2017. С. 63.

УДК 621.45

ВЛИЯНИЕ ТУРБУЛЕНТНОСТИ НА СКОРОСТЬ РАСПРОСТРАНЕНИЯ ПЛАМЕНИ В ДВС

Шайкин А.П., Галиев И.Р.

Тольяттинский государственный университет, г. Тольятти,
sbs777@yandex.ru

Ключевые слова: камера сгорания, скорость распространения пламени, двигатель, турбулентность.

Процесс сгорания комбинированного углеводородного топлива в поршневых двигателях представляет собой сложный физико-химический процесс, протекающий при изменении: давления, температуры топливовоздушной смеси (ТВС), объема камеры сгорания (КС), скорости перемещения ТВС, масштаба и интенсивности турбулентности, ширины зоны химических реакций (ЗХР), турбулентной и нормальной скоростей распространения пламени. Скорость распространения пламени характеризует воздействие турбулентности и физико-химических свойств ТВС на развитие начального очага горения при зажигании, длительность процесса сгорания в цикле и процесс догорания ТВС у стенок цилиндра. Несмотря на большое количество исследований в данной области, в настоящее время остается малоизученным влияние турбулентности на скорость распространения метановодородовоздушного пламени в ДВС.

Исследования проводились на одноцилиндровой моторной установке [1]. В качестве топлива использовался природный газ, в который добавлялся водород.

Скорость пламени в первой и второй фазе сгорания определялась с помощью ионизационных датчиков. Изменение интенсивности турбулентности в КС осуществлялось за счет увеличения частоты вращения коленчатого вала двигателя ($n_{квд}$) с 600 до 900 мин⁻¹.

Экспериментально обнаружено, что с увеличением частоты вращения КВД с 600 до 900 мин⁻¹ происходит возрастание скорости распространения пламени только во второй фазе сгорания; изменение концентрации водорода в ТВС практически не влияет на данную закономерность. Это объясняется тем, что в первой фазе сгорания пламя представляет собой небольшой очаг горения и турбулентным вихрям сложнее повлиять на форму пламени, нежели когда пламя увеличилось в размерах. Поскольку, чем меньше очаг горения, тем большей гидродинамической устойчивостью к внешним воздействиям он обладает. Особенно ярко данная тенденция проявляется при сжигании ТВС с коэффициентом избытка воздуха (α) от 0,9 до 1,1. Так, прирост скорости в первой фазе сгорания (U_1) при $\alpha=1$ составил 2%, а во второй фазе сгорания (U_2) 21%, рис. 1.

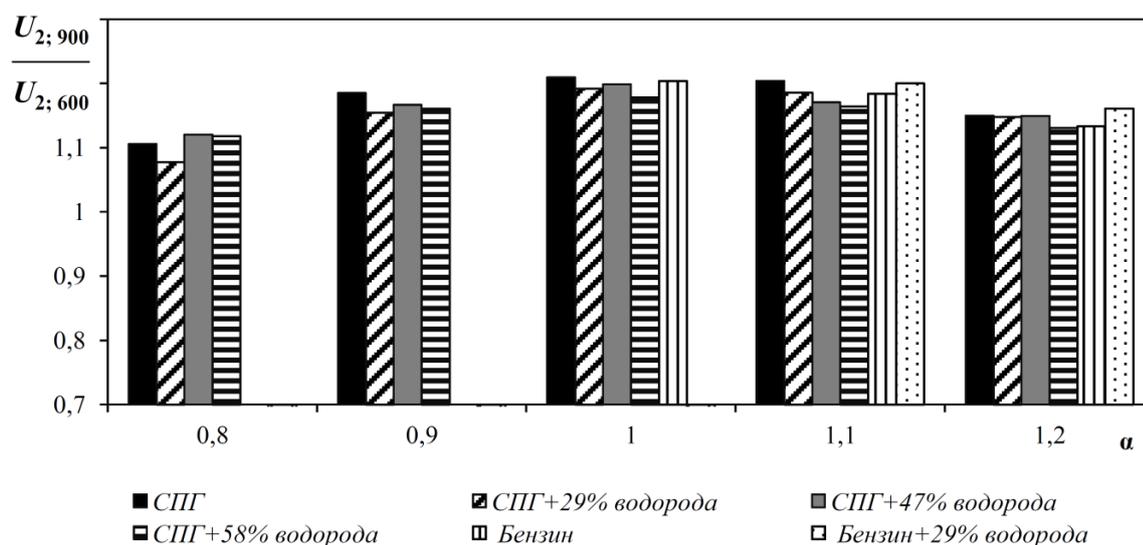


Рис. 1 – Изменение скорости распространения пламени во второй фазе сгорания при увеличении частоты вращения КВД с 600 до 900 мин⁻¹

Выявленная закономерность объясняется тем, что при коэффициентах избытка воздуха от 0,9 до 1,1 горение в ДВС описывается моделью микроламинарного пламени, т.е. число Карловица $Ka < 1$ и число Дамкелера $Da \gg 1$. Турбулентные вихри не проникают в ЗХР пламени, а только меняют ее конфигурацию, поэтому увеличение $n_{квд}$ приводит к увеличению площади поверхности фронта пламени и, как следствие, росту скорости распространения пламени. При $\alpha=1,2$ увеличение скорости в первой фазе сгорания составило 4%, а во второй фазе сгорания 12%. Т. е. с обеднением ТВС увеличение средней скорости пламени за счет прироста интенсивности турбулентности снижается. Это связано с тем, что при сжигании бедных смесей ($\alpha > 1,2$) ширина ламинарного

пламени увеличивается, турбулентные вихри проникают в ЗХР и влияют на кинетику химических реакций, т.е. $Ka > 1$ и $Da > 1$. Турбулентность потока приводит к разрыву ЗХР и снижению скорости распространения пламени. Отметим, что подобные результаты были получены при анализе данных голландских ученых [2], изучавших влияние частоты вращения КВД и угла поворота КВД на скорость распространения пламени в КС газопоршневого ДВС. А также в работе [3], в которой экспериментально показано влияние пульсационной скорости на скорость распространения пламени в разные моменты сгорания топлива в КС постоянного объема. Кроме этого обработка экспериментальных данных, полученных на бензопоршневой моторной установке [4], выявила схожее поведение скорости распространения пламени в основной фазе сгорания, при увеличении частоты вращения коленчатого вала ДВС с 600 до 900 мин⁻¹. В частности, при $\alpha = 1$ скорость пламени увеличилась на 20%, а при $\alpha = 1,2$ прирост скорости составил 14%, при этом 29% добавка водорода в ТВС не повлияла на полученные значения, рис. 1. Анализ взаимосвязи нормальной скорости пламени во второй фазе сгорания с турбулентностью (изменяемой увеличением частоты вращения коленчатого вала ДВС с 600 до 900 мин⁻¹) и добавками водорода [1] также выявил отсутствие влияния добавок водорода на изменение скорости пламени U_{900}/U_{600} . Сходимость результатов исследований с экспериментами отечественных и зарубежных ученых свидетельствует об их достоверности и возможности применения в КС разной конструкции.

Таким образом, выявлено, что влияние на скорость распространения пламени интенсивности турбулентности, определяемой частотой вращения КВД, зависит от фазы сгорания (чем больше размер очага горения, тем сильнее влияние турбулентности), коэффициента избытка топлива (при α от 0,9 до 1,1 увеличение турбулентности приводит к более заметному росту скорости пламени, нежели при $\alpha > 1,2$ и $\alpha < 0,9$) и не зависит от концентрации водорода в топливе. Результаты работы могут быть использованы при проектировании и доводке энергоэффективных и малоэмиссионных камер сгораний.

Статья публикуется при поддержке Министерства науки и высшего образования РФ в рамках программы назначения стипендии Президента РФ для молодых ученых СП-3204.2018.1.

Список литературы

1. Шайкин А. П., Ивагин П.В., Галиев И.Р., Дерячев А.Д. Характеристики распространения пламени и их влияние на образование несгоревших углеводородов и оксида азота в отработавших газах при добавке водорода в топливно-воздушную смесь энергетических установок с искровым зажиганием. - СНЦ РАН: 2016. 259 с.

2. Doosje E. Limits of mixture dilution in gas engines. - Doctoral thesis: 2010. 370 p.
3. Toninel S. Implementation and Validation of the G-equation Model Coupled with Flamelet Libraries for Simulating Premixed Combustion in I.C. Engines // SAE Paper. – 2009. - № 2009-01-0709.
4. Дерячев А.Д. Эмпирическая модель оценки концентрации оксидов азота при добавке водорода в ТВС двигателей с искровым зажиганием. – Тольятти: 2015.150 с.

УДК 621.431

ОСОБЕННОСТИ СМЕСЕОБРАЗОВАНИЯ, ГОРЕНИЯ И ТЕПЛООБМЕНА В ДВИГАТЕЛЕ ВНУТРЕННЕГО СГОРАНИЯ С РЕГЕНЕРАЦИЕЙ ТЕПЛА В ЦИКЛЕ

А.И. Довгялло, Д.А. Шестакова
Самарский университет, г. Самара

Ключевые слова: Непосредственный впрыск, экологичность, экономичность, топливная форсунка

Разработан двигатель внутреннего сгорания с регенерацией тепла в цикле (ДВС-Р) [1], а также рассмотрены достоинства и недостатки непосредственного впрыска топлива, определен возможный тип смесеобразования в предлагаемом двигателе. К преимуществам непосредственного впрыска топлива в цилиндр относится:

- экологичность;
- экономичность 5-10%;
- более высокая мощность;
- топливо при непосредственном попадании в цилиндр охлаждает головку поршня;
- происходит лучшее смешение топливоздушной смеси в цилиндрах;
- меньше детонация;
- требуется гораздо меньше топлива, смесь при определенных условиях работы мотора может обедняться до 30:1;
- процесс работы двигателя точнее контролируется при помощи компьютера.

Однако, с конструктивной точки зрения двигатель будет более сложным за счет добавления топливного насоса высокого давления в конструкцию ДВС-Р.