

**Е.Ж. Шотаева\*, М.Ж. Рыспаева, И.Э. Березовская**  
Казахский национальный университет им. аль-Фараби, Алматы, Казахстан  
\*e-mail: [yerkenaz.12@mail.ru](mailto:yerkenaz.12@mail.ru)

## ПОВЫШЕНИЕ ЭФФЕКТИВНОСТИ ГОРЕНИЯ БЕНЗИНА В ЗАВИСИМОСТИ ОТ УГЛА РАСПЫЛА В МОДЕЛЬНОЙ КАМЕРЕ СГОРАНИЯ

**Аннотация.** В данной статье представлены результаты численного моделирования, оценивающего влияния угла распыла бензина (С<sub>6</sub>Н<sub>6</sub>) в камере сгорания на распределение температуры в камере сгорания и образования концентрации углекислого газа. Целью данной работы является изучение влияния начальных параметров на процесс сгорания жидкого топлива с помощью численного моделирования на основе решения дифференциальных двумерных уравнений турбулентного реагирующего течения. Исследования проводились при значениях угла распыла 20-160, с помощью программных пакет KIVA-II. Анализируя полученные результаты исследования, была определена величина эффективного угла распыла для горения бензина. При эффективном значении угла распыла 60 температура в камере поднимается до 2467 К, в этом случае концентрация углекислого газа приобретает сравнительно небольшое значение.

**Ключевые слова:** численное моделирование, KIVA-II, угол распыла, CO<sub>2</sub>, жидкое топливо, камера сгорания, бензин.

Нормы выбросов дизельных двигателей во всем мире становятся более строгими. Следовательно, актуальна разработка систем сгорания двигателя, которые обеспечивают топливную экономичность дизельного двигателя, но с низким уровнем дыма и выбросов NO<sub>x</sub>. Таким образом, сгорание с воспламенением от сжатия с предварительной смесью представляет собой интересный способ достижения чистого и эффективного двигателя. Однако использование топлива с высокой реакционной способностью, такого как дизельное топливо, приводит к сложной и дорогостоящей конструкции двигателя. Проверенным способом преодоления этого недостатка является активный контроль реакционной способности топлива с использованием топлива с низким цетановым числом, такого как бензин [1].

В настоящее время продолжают исследования, процесса впрыска основанных на изменении температуры топлива. В исследовании изменения свойств топлива в зависимости от температуры было обнаружено, что плотность топлива линейно уменьшается, а кинематическая вязкость экспоненциально уменьшается с повышением температуры топлива [2].

В этом случае актуальным в решении поставленных задач является моделирование процессов распада, дисперсии, испарения и горения капель жидкого топлива (бензина) при различных начальных условиях.

В работе проведено исследование влияние угла распыла на процесс сгорания жидкого топлива на основе программы KIVA-II для численного расчета двух и трехмерных, реагирующих жидких потоков с впрысками [3] [4]. Метод математического моделирования

## • Физико-математические науки

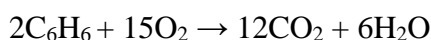
является эффективным и экономичным методом глубокого детального анализа турбулентных процессов тепло и массообмена [5].

В исследовательской работе [6] по горению н-тетрадекана ( $C_{14}H_{30}$ ), которая является моделирующим компонентом моторных топлив, были получены результаты максимального значения концентрации углекислого газа не превышающего 0,19 г/г по высоте камеры на выходе, а тепловыделение составляло 3100 К на стадии активного горения топлива.

**Бензин** - смесь легких углеводородов разного состава, температура кипения 30 - 205°C, бесцветный. Он легче воды, имеет плотность 0,70 - 0,78 г/см<sup>3</sup>, застывает при -60°C. Бензин - легколетучее, легковоспламеняющееся вещество, смесь паров с воздухом взрывоопасна, используется как авиационное, автомобильное, дизельное и ракетное топливо, получаемое путем перегонки сырой нефти. На транспортный сектор приходится более 20% мирового потребления энергии. Растущий спрос на транспортную энергию и все более строгие правила выбросов стимулируют исследования в области сгорания и двигателей к более чистым и эффективным решениям.

Бензин обычно используется в поршневых двигателях внутреннего сгорания с искровым зажиганием, где топливовоздушная смесь сжимается и зажигается искрой с образованием распространяющегося фронта пламени [7].

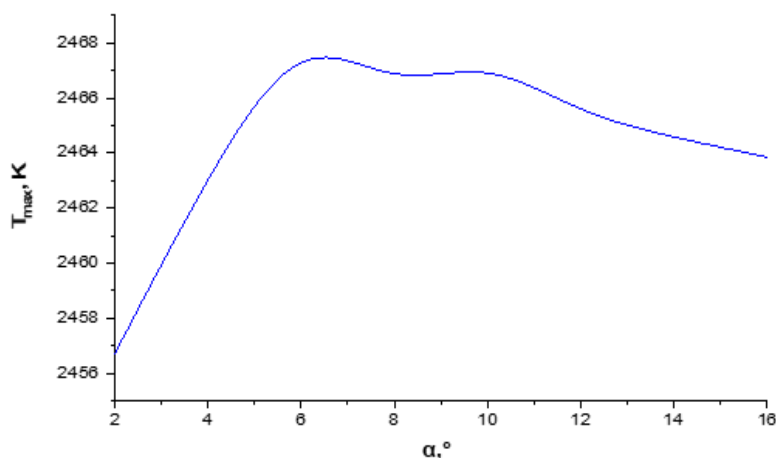
Реакция горения бензина с образованием воды и углекислого газа следующая:



Расчеты проводились при значениях угла распыла  $\alpha$  от 2° до 16° и эффективном значении массы  $m = 18$  мг. Жидкое топливо распыляется через сопло, расположенное в середине основания цилиндрической камеры с начальной температурой 300 К, высотой 15 см и радиусом 2 см. Топливо впрыскивается в камеру сгорания, которая заполнена воздухом при температуре 900 К, происходит процесс быстрого испарения и сгорает в газовой фазе. Процесс горения жидкого топлива в среднем занимает 4 мс. Время распыления жидкого топлива равно  $1,4 \cdot 10^{-3}$  с. Количество контрольных ячеек - 600. Температура стенок камеры сгорания равна 353 К. Площадь сопла инжектора составляет  $2 \cdot 10^{-4}$  см<sup>2</sup>.

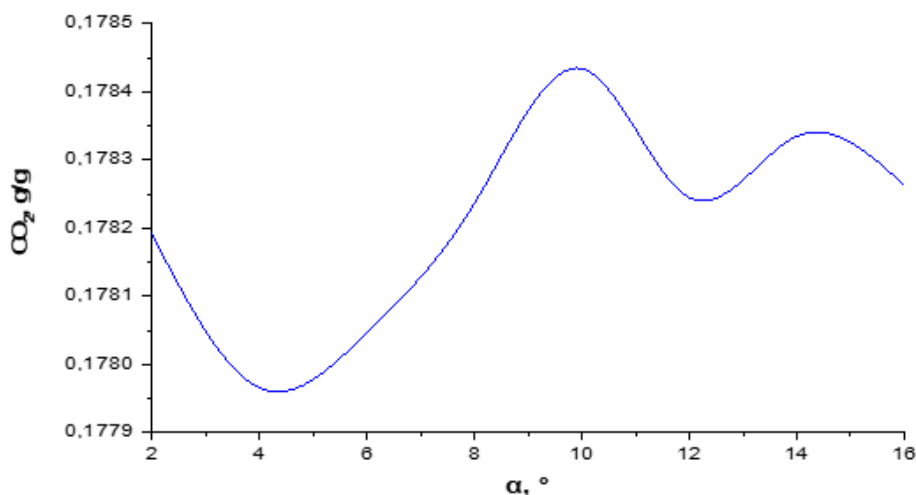
На рис. 1-2 показаны результаты исследования влияния угла распыла на температуру в камере сгорания и концентрацию углекислого газа, образующегося в процессе горения.

Анализируя рисунок 1, можно получить следующий результат. При угле распыла 6° температура камеры сгорания увеличивается до максимального значения 2467 К. При более высоких значениях угла распыления не наблюдается значительного изменения температуры.



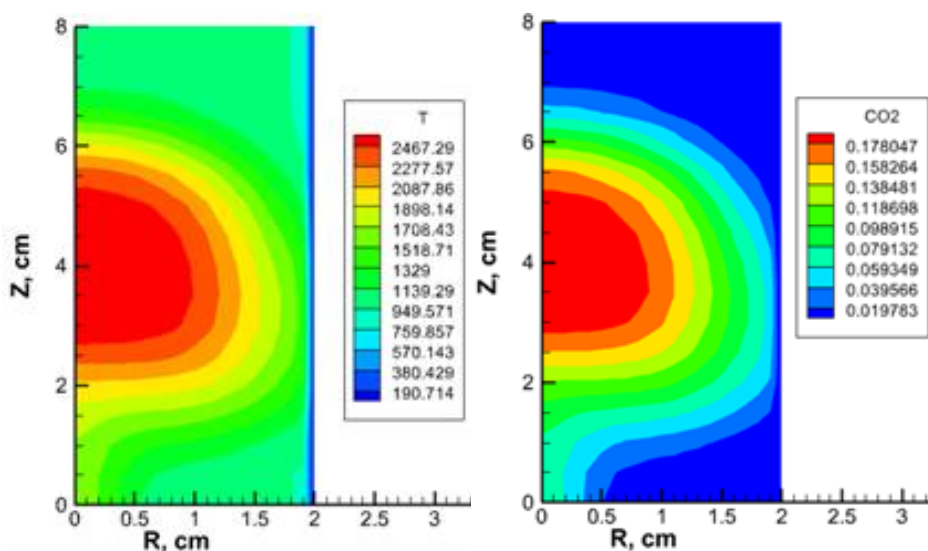
**Рис. 1.** Распределение максимальной температуры в камере сгорания в зависимости от значения угла распыла  $\alpha$ .

На рис. 2 изображена зависимость концентрации  $\text{CO}_2$  от значения угла распыла. Как видно из рисунка, концентрация углекислого газа увеличивается с 0,1779 г/г до 0,1784 г/г при значениях угла впрыска от  $2^\circ$  до  $16^\circ$ . Самая низкая концентрация углекислого газа наблюдается в диапазоне углов распыления  $4^\circ - 6^\circ$ .



**Рис. 2.** Распределение концентрации углекислого газа в камере сгорания в зависимости от значения угла распыла  $\alpha$ .

Как показано на рисунке 3 при угле распыла  $6^\circ$  максимальная температура в камере сгорания составляет 2467 К, т.е. максимальное значение. Кроме того, концентрация углекислого газа при таком угле распыла относительно мала и составляет 0,1780 г/г.



**Рис. 3.** График распределения температуры и концентрации углекислого газа в камере сгорания при эффективном угле распыла  $6^\circ$ .

Анализируя результаты экспериментов, описывающих влияние угла распыла и взаимозависимость температуры окислителя на горения жидкого топлива в камере сгорания с высокой турбулентностью, приведены следующие выводы: величина эффективного угла распыла для повышения эффективного процесса горения бензина в камере сгорания равна в диапазоне  $4^\circ - 6^\circ$  при максимальной температуре 2467 К.

Полученные результаты позволяют выбрать оптимальный вариант организации процесса горения жидкого топлива с целью повышения эффективности камеры сгорания и уменьшения отрицательного воздействия на окружающую среду.

#### ЛИТЕРАТУРА

- [1] Payri R. et al. Hydraulic behavior and spray characteristics of a common rail diesel injection system using gasoline fuel. – SAE Technical Paper, 2012. – №. 2012-01-0458.
- [2] Park S. H. et al. Experimental and numerical analysis of spray-atomization characteristics of biodiesel fuel in various fuel and ambient temperatures conditions //International journal of heat and fluid flow. – 2009. – Т. 30. – №. 5. – С. 960-970.
- [3] Аскарлова А. С. и др. Численное моделирование горения и самовоспламенения двухфазных химически реагирующих течений с впрысками //Известия Томского политехнического университета. Инжиниринг георесурсов. – 2009. – Т. 315. – №. 4.
- [4] Amsden A.A., O'Rourke P.J., Butler T.D. KIVA-II: A computer program for chemically reactive flows with sprays. - Los Alamos, 1989. - 160 p.
- [5] A.S. Askarova, S.A. Bolegenova, S.A. Bolegenova, I.E. Berezovskaya, etc Computer simulation of liquid fuel combustion in developed turbulence using the soot formation and oxidation model Alternative Energy Sources, Materials & Technologies AESMT'20, Proceeding of short papers. -2020. – Vol. 2 - pp. 43-44
- [6] I. Berezovskaya, Sa. Bolegenova, O. Vorobyova, M. Ryspayeva, etc Numerical study of heat and mass transfer processes in the internal combustion chamber by method of computer simulation Alternative Energy Sources, Materials & Technologies AESMT'21, 2021 ALTERNATIVE TECHNOLOGIES, Energy Efficiency. -2021. – Vol. 3 - pp. 119-120
- [7] Harbi A., Farooq A. Monte-Carlo based laminar flame speed correlation for gasoline //Combustion and Flame. – 2020. – Т. 222. – С. 61-69.

**Е.Ж. Шотаева\*, М.Ж. Рыспаева, И.Э. Березовская**  
әл-Фараби атындағы Қазақ ұлттық университеті, Алматы, Қазақстан  
\*e-mail: [yerkenaz.12@mail.ru](mailto:yerkenaz.12@mail.ru)

#### МОДЕЛЬДІ ЖАНУ КАМЕРАСЫНДА БҮРКУ БҰРЫШЫНА ТӘУЕЛДІ БЕНЗИННІҢ ЖАУ ТИІМДІЛІГІН АРТТЫРУ

**Андатпа.** Бұл мақалада жану камерасындағы бензиннің (C<sub>6</sub>H<sub>6</sub>) бүрку бұрышының жану камерасындағы температураның таралуына және көмірқышқыл газының концентрациясының түзілуіне әсерін бағалайтын сандық модельдеу нәтижелері берілген. Бұл жұмыстың мақсаты турбулентті реакция ағынының екі өлшемді дифференциалдық тендеулерін шешуге негізделген сандық модельдеу арқылы сұйық отынның жану процесіне бастапқы параметрлердің әсерін зерттеу болып табылады. Зерттеулер KIVA-II бағдарламалық пакетін қолдану арқылы 20-160 бүрку бұрыштарында жүргізілді. Зерттеу нәтижелерін талдай отырып, бензинді жағу үшін тиімді бүрку бұрышының мәні анықталды. 60 тиімді бүрку бұрышында камерадағы температура 2467 К дейін көтеріледі, бұл жағдайда көмірқышқыл газының концентрациясы салыстырмалы түрде аз мәнге ие болады.

**Негізгі сөздер:** сандық модельдеу, KIVA-II, бүрку бұрышы, CO<sub>2</sub>, сұйық отын, жану камерасы, бензин.

**Ye. Shotayeva\*, M. Ryspayeva, I. Berezovskaya**  
al-Farabi Kazakh national university, Almaty, Kazakhstan  
\*e-mail: [yerkenaz.12@mail.ru](mailto:yerkenaz.12@mail.ru)

#### INCREASING THE EFFICIENCY OF GASOLINE COMBUSTION DEPENDING ON THE SPRAY ANGLE IN A MODEL COMBUSTION CHAMBER

**Abstract.** This article presents the results of numerical simulation that evaluates the influence of the spray angle of gasoline (C<sub>6</sub>H<sub>6</sub>) in the combustion chamber on the temperature distribution in the combustion

chamber and the formation of carbon dioxide concentration. The purpose of this work is to study the influence of initial parameters on the process of liquid fuel combustion using numerical simulation based on the solution of two-dimensional differential equations of turbulent reacting flow. The studies were carried out at spray angle of 20-160 using the KIVA-II software package. Analyzing the results of the study, the value of the effective spray angle for gasoline combustion was determined. At an effective spray angle of 60, the temperature in the chamber rises to 2467 K, in which case the concentration of carbon dioxide acquires a relatively small value.

**Key words:** numerical simulation, KIVA-II, spray angle, CO<sub>2</sub>, liquid fuel, combustion chamber, gasoline.