

ИССЛЕДОВАНИЕ ОСНОВНЫХ ФАКТОРОВ НА ПРОЦЕСС ВОСПЛАМЕНЕНИЯ ГОМОГЕННОЙ СМЕСИ ОТ СЖАТИЯ В ДВС

К.Т.Н. Макаров А.Р.¹, К.Т.Н. Смирнов С.В.¹, К.Т.Н. Костюков А.В.², Пономарева К.А.¹

¹Российский университет дружбы народов, Москва, Россия

²Московский политехнический университет, Москва, Россия

a-r-makarov@yandex.ru

Представлен обзор преимуществ двигателя с воспламенением обедненной гомогенной смеси от сжатия (НССИ), среди которых прежде всего экономические и экологические показатели. Рассмотрены недостатки данного двигателя, препятствующие выходу в серийное производство, основным из которых является сложность обеспечения в камере сгорания условий для самовоспламенения рабочей гомогенной смеси вблизи ВМТ во всем диапазоне режимов работы двигателя. Представлены пути решения проблем управления моментом воспламенения рабочей смеси в камере сгорания, снижения уровня шума и борьба с возникновением ударных нагрузок при увеличении нагрузки, запуска холодного двигателя и совершенствования двигателя с НССИ процессом. К основным можно отнести сочетание распределенного и непосредственного впрыска с использованием изменяемых фаз газораспределения и рециркуляции отработавших газов, совместного использования регулируемого турбонаддува и рециркуляции отработавших газов, изменение подгрева рабочей смеси на впуске в двигатель, внешняя и внутренняя рециркуляция отработавших газов (ОГ) с использованием механизма изменения фаз газораспределения, регулирование химического состава топлива и изменение интенсивности теплообмена и динамики роста температуры в цилиндре в первую очередь за счет изменения температуры днища поршня. Приводятся результаты расчетных исследований влияния различных параметров на процесс воспламенения гомогенной смеси от сжатия. Установлено, что наибольший эффект на процесс гомогенизации топливовоздушной смеси оказывает увеличение температуры поверхности днища поршня. Уменьшение диаметра капель топлива с 0,1 мм до 0,03 мм приводит к росту относительной массы испарившегося топлива в 2 раза. Увеличение температуры топлива на впуске также эффективно увеличивает относительную массу испарившегося топлива.

Ключевые слова: НССИ-процесс, смесеобразование, гомогенизация, обедненная смесь, рециркуляция ОГ, изменение фаз газораспределения, испарение топлива.

Введение

Перспективным направлением развития двигателестроения является разработка двигателей с воспламенением обедненной гомогенной смеси от сжатия во всем объеме без турбулентного распространения пламени (НССИ – Homogeneous Charge Compression Ignition). Процесс сгорания в данном двигателе осуществляется за минимальный период времени. Экспериментальные исследования показали, что в большинстве режимов работы двигателя продолжительность тепловыделения составляет 6–12° ПКВ и только на некоторых режимах увеличивается до 20–25° ПКВ. Именно столь интенсивное тепловыделение при высокой полноте сгорания и минимальных потерях определяет высокий КПД процесса и экономичность двигателя. Кроме того, в данных двигателях регулирование мощно-

сти осуществляется за счет изменения количества подаваемого топлива через форсунку, тем самым уменьшаются насосные потери. Поэтому КПД у двигателя с НССИ-процессом больше, чем у двигателей с искровым зажиганием, у которых продолжительность сгорания больше (до 50° поворота коленчатого вала), регулирование, как правило, количественное, и имеются ограничения степени сжатия и выше КПД дизелей, продолжительность процесса сгорания, у которых наибольшая (до 100° поворота коленчатого вала) из-за одновременного протекания процессов смесеобразования и сгорания [1, 2].

Основное требование к топливу при осуществлении НССИ-процесса – возможность образования гомогенной смеси. Следовательно, такой двигатель может работать на большинстве традиционных и альтернативных видов

топлива: дизельном, бензине, природном и сжиженном газе, спиртах, диметиловом эфире и т.д.

В условиях жестких требований снижения токсичности отработавших газов двигателя с НССИ-процессом имеют несомненное преимущество. Сгорание бедных смесей приводит к уменьшению уровня температур цикла без образования высокотемпературных зон [4] и, следовательно, позволяет достичь ультранизких концентраций NO_x . Полное сгорание бедных смесей гарантирует отсутствие сажи. А высокая экономичность приводит к уменьшению выбросов CO_2 , влияющих на парниковый эффект.

Основными проблемами НССИ-процесса, ограничивающими широкое распространение данных двигателей в промышленности, являются [2–4]:

1. Сложность обеспечения в камере сгорания условий для самовоспламенения рабочей гомогенной смеси вблизи ВМТ во всем диапазоне режимов работы двигателя.

2. На больших нагрузках при увеличении подачи топлива и уменьшении обедненности смеси самовоспламенение во всем объеме приводит к значительным ударным нагрузкам, что в свою очередь ведет к увеличению уровня шума и, что самое опасное, к возможности разрушения всего поршня.

3. При запуске холодного двигателя, особенно в зимнее время, и при эксплуатации на режимах холостого хода возникают определенные сложности с самовоспламенением смеси [3].

Приготовление гомогенной смеси и управление моментом воспламенения составляет основную проблему создания серийных двигателей с НСС-процессом, от решения которой зависит, станут ли двигатели этого класса доминировать на потребительском рынке. Частично проблема гомогенизации топливовоздушной смеси может быть решена путем многостадийного впрыска топлива во время процесса впуска [5].

В работах [1, 3] предложены следующие методы решения задачи управления моментом воспламенения:

- изменение подогрева рабочей смеси на впуске в двигатель;
- рециркуляция ОГ;
- внутренняя рециркуляция ОГ с использованием механизма изменения фаз газораспределения;
- оперативное изменение степени сжатия;
- регулирование химического состава топлива;

– плазменная активация свежего заряда в камере сгорания;

– торможение реакций самовоспламенения за счет воздействия на термохимическое состояние заряда.

Одним из эффективных способов регулирования момента воспламенения является организация внутренней рециркуляции отработавших газов [1, 8].

Экспериментальные исследования показывают, что на момент воспламенения определяющее влияние оказывает количество и температура остаточных газов в цилиндре от предшествующего рабочего цикла.

Чем больше в цилиндре остаточных газов, имеющих высокую температуру и в своем составе активные химические соединения, тем выше температура сжимаемой смеси и вероятность ее воспламенения.

Для увеличения количества остаточных газов выпускные клапаны закрываются до прихода поршня в ВМТ и тем самым значительная часть остаточных газов остается в цилиндре.

Данное направление неразрывно связано с реализацией сложного газораспределительного механизма с микропроцессорным управлением фазами газораспределения в широких пределах и с высокой точностью, чутко реагирующая на все изменения режима.

Предварительно необходимо провести широкомасштабные расчетные и экспериментальные исследования разрабатываемого двигателя, которые позволят определить для всего диапазона режимов работы двигателя зависимости момента воспламенения от количества остаточных газов. Менее эффективно, но также возможно использование внешней рециркуляции ОГ.

Важным направлением является использование на режимах пуска, холостого хода и больших нагрузках традиционной системы с искровым зажиганием. На остальных режимах используется НССИ-процесс.

Для компенсации потери мощности при использовании обедненных смесей, при работе на которых НСС-процесс наиболее эффективен, используется наддув – турбонаддув (имеется сложность применения во всем диапазоне), механический наддув (возрастают потери мощности) или их сочетание.

Другим вариантом компенсации потери мощности может быть использование двухтактного процесса.

Перечисленные способы могут использоваться в сочетании, если это будет экономически целесообразно.

Увеличение использования электродвигателей на транспорте делает перспективным применение гибридных силовых установок.

Как известно, двигатель внутреннего сгорания в гибридной силовой установке работает в узком диапазоне режимов. Двигатель внутреннего сгорания, работающий на обедненных смесях, позволит увеличить эффективность гибридной силовой установки на отдельных режимах, где использование НССИ-процесса неэффективно или затруднено, работать силовая установка будет от электричества.

В работе [4] рассматривается еще один метод управления самовоспламенением посредством совместного использования регулируемого турбонаддува и рециркуляции отработавших газов.

Еще одним методом влияния на момент самовоспламенения и динамику развития процесса сгорания является изменение интенсивности теплообмена и динамики роста температуры в цилиндре [6–11]. В результате момент воспламенения, который определяется уровнем температуры топливовоздушной смеси, изменяется соответственно в ту или иную сторону при одновременном изменении закона выгорания топлива.

Цель и объект исследования

Основной целью данного исследования являлось исследование влияния различных факторов на процесс гомогенизации смеси, который является определяющим в обеспечении эффективного протекания НССИ-процесса.

В качестве объекта расчетного исследования использовался одноцилиндровый поршневой двигатель, имеющий:

- номинальную частоту вращения – 2000 мин⁻¹;
- объем цилиндра – 1300 см³;
- степень сжатия – 20.

Исходные данные:

- частота вращения варьировалась (1000 мин⁻¹ и 2000 мин⁻¹);
- температуры стенки цилиндра, клапана и камеры сгорания брались равными соответственно 160 °С, 400 °С и 250 °С в соответствии с типичным тепловым состоянием элементов поршневых двигателей [10];
- температура поршня варьировалась от 280 °С до 500 °С;

- температура компонентов топливовоздушной смеси на входе в клапан варьировалась от 30 °С до 60 °С;

- относительные объемы воздуха и жидкого топлива, входящих в цилиндр, брались приблизительно равными 0,99985 и 0,00015 соответственно;

- средний диаметр капель топлива на входе в цилиндр брались равными 0,1 и 0,03 мм.

Расчетные исследования

Для организации процесса сгорания НССИ-процесса необходимо сначала проанализировать состояние топливовоздушной смеси к моменту самовоспламенения. В данном исследовании для решения задачи гомогенизации топливовоздушной смеси в качестве физической модели была взята объемная модель цилиндра двигателя с движущимся поршнем. На такте впуска через клапан поступает воздух с каплями распыленного топлива. Входящая в цилиндр смесь нагревается и топливо начинает испаряться. На такте сжатия процесс испарения топлива продолжается, но уже в основном за счет теплоты, выделяющейся при сжатии рабочего тела.

Значения взятых в расчетах диаметров капель топлива соответствуют давлению перед форсункой 60 Бар и 600 Бар. То есть диаметр капли 0,03 мм может быть получен при использовании насоса высокого давления используемого в дизельных двигателях, в то время как капли диаметром 0,1 мм вполне соответствуют топливной аппаратуре бензинового двигателя.

Из результатов данного исследования следует, что наибольшее влияние на процесс гомогенизации топливовоздушной смеси оказывает увеличение температуры поверхности поршня.

Проведенные вариантные расчеты процесса смесеобразования на тактах впуска и сжатия в цилиндре поршневого двигателя, работающего по циклу НССИ-процесса, также показали, что мелкость распыла топлива и температура входящей в цилиндр топливовоздушной смеси оказывают существенное влияние на процесс гомогенизации топливовоздушной смеси, причем основной вклад в процесс гомогенизации смеси происходит на такте впуска.

Уменьшение диаметра капель с 0,1 мм до 0,03 мм приводит к росту относительной массы испарившегося топлива в 2 раза.

Увеличение температуры топлива на входе в цилиндр в отличие от увеличения темпера-

туры воздуха не будет приводить к существенному снижению мощности и эффективности двигателя. Поэтому интенсификация процесса гомогенизации топливовоздушной смеси посредством подогрева топлива перед его подачи в цилиндр представляется весьма перспективной. Подогрев топлива будет эффективным и безопасным, если его осуществлять, например, горячим теплоносителем, взятым из системы охлаждения двигателя. Количество испарившегося топлива на такте впуска вполне соизмеримо с величиной испарившегося топлива на такте сжатия.

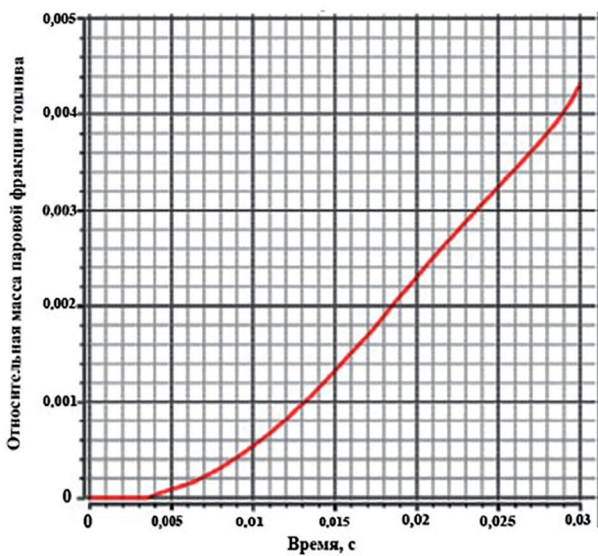


Рис. 1. Увеличение относительной массы паровой фракции топлива на такте впуска при температуре входящих в цилиндр воздуха равного 30 °C и топлива 60 °C

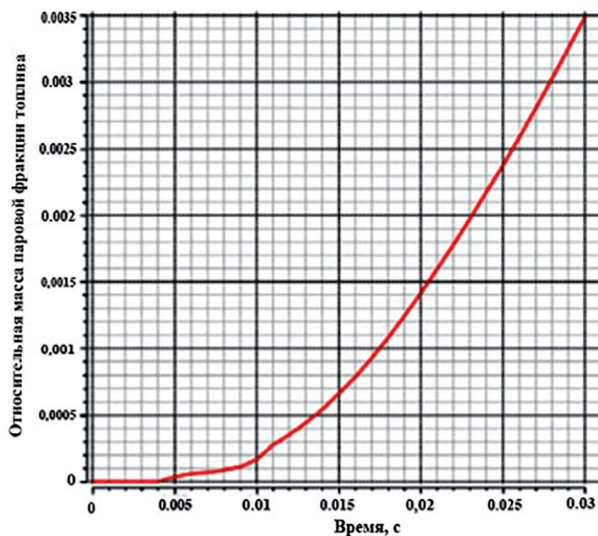


Рис. 2. Увеличение относительной массы паровой фракции топлива на такте впуска при температуре входящих в цилиндр воздуха и топлива равных 50 °C

На графиках, представленных на рис. 1 и 2 хорошо видно влияние температуры входящей смеси.

Наиболее сильное влияние оказывает увеличение температуры входящего в цилиндр жидкого топлива. Так, в случае, когда входящие в цилиндр воздух и топливо имеют температуру 50 °C, относительная масса испарившегося топлива на такте впуска равна 0,0035, а при температурах воздуха 30 °C и топлива 60 °C относительная масса испарившегося топлива достигает величины 0,00415.

Как показали расчеты на такте сжатия относительная масса испарившегося топлива увеличивается. При температуре смеси 50 °C относительная масса испарившегося топлива равна 0,05, а при температурах воздуха 30 °C и топлива 60 °C — 0,11 (сравнение на такте сжатия производится в момент времени 0,051 с).

Данные выводы подтверждаются исследованиями [11], где показано, что НССИ-процесс может быть достигнут в двигателе с принудительным воспламенением смеси от свечи зажигания, который имеет низкую степень сжатия с повышенными температурами всасывания (300–500 °C). В общем, температура всасываемого заряда оказывает сильное влияние на время сгорания НССИ. На рис. 3 показана развернутая индикаторная диаграмма (зависимость давления в камере сгорания от угла поворота коленчатого вала) для 2-тактного двигателя с частотой вращения 6000 об/мин. При увеличении общей температуры газа значительно ускоряется синхронизация сгорания НССИ-процесса. При температуре 575 °K

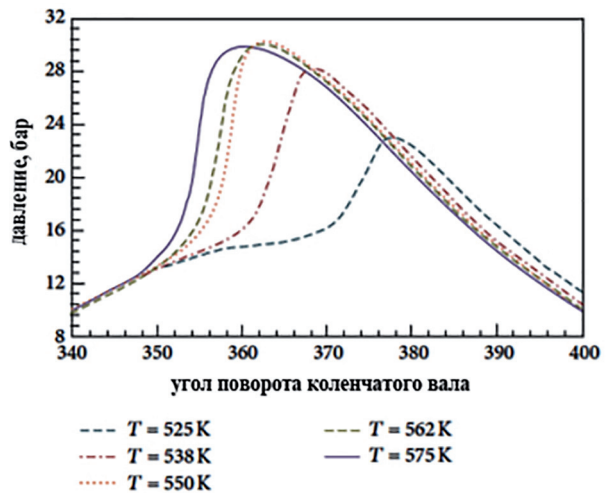


Рис. 3. Давление цилиндра в зависимости от угла поворота коленчатого вала при различных температурах всасывания

момент самовоспламенения максимально приближен в ВМТ. Кроме того, при уменьшении температуры всасывания максимальное давление цилиндра уменьшается, но при температуре на входе 525 °К момент самовоспламенения настолько задерживается, что возможны некоторые пропуски зажигания.

Однако, как показали выполненные исследования, наибольшее влияние на процесс гомогенизации топливовоздушной смеси оказывает увеличение температуры поверхности поршня.

Влияние температуры поршня на процесс испарения топлива и гомогенность свежего

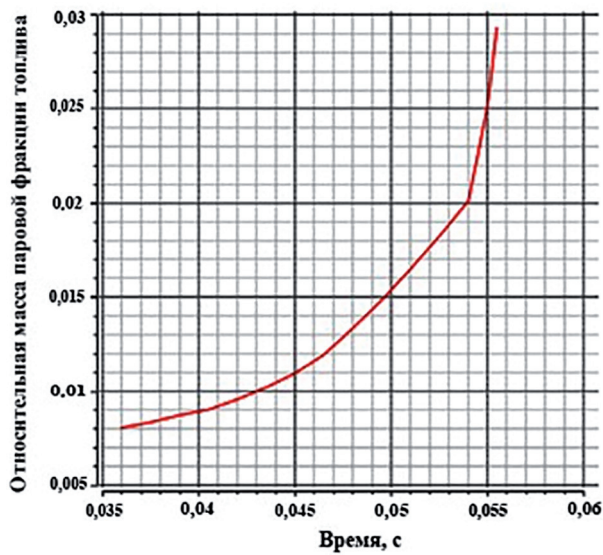


Рис. 4. Увеличение относительной массы паровой фракции топлива на такте сжатия при температуре поршня равной 280 °С

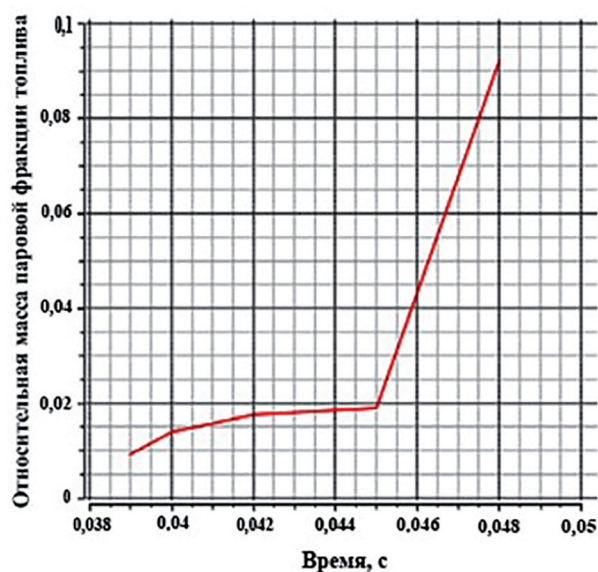


Рис. 5. Увеличение относительной массы паровой фракции топлива на такте сжатия при температуре поршня равной 500 °С

заряда весьма существенна (рис. 4 и 5): так при увеличении температуры поршня с 280 °С до 500 °С относительная масса испарившегося топлива на такте впуска растет с 0,0043 до 0,119, а на такте сжатия с 0,00132 до 0,0035.

Увеличение температуры поршня до 500 °С и выше может быть получено за счет установки на поршень накладки из жаропрочной стали с низким коэффициентом теплопроводности или посредством нанесения на поршень керамического покрытия.

Этот вывод был подтвержден результатами экспериментальных исследований на одноцилиндровом ДВС установки ИТ9-2 при его работе по циклу НССИ-процесса. Устойчивое самовоспламенение топливовоздушной смеси на двигателе было получено только после установки на поршень накладки из жаропрочной стали. Таким образом, как видно из приведенных выше графиков, наибольшее влияние на процесс гомогенизации топливовоздушной смеси оказывает увеличение температуры поверхности поршня.

На увеличение температуры смеси и, следовательно, на эффективность самовоспламенения можно повлиять также с помощью конструирования поршня. Например, использование составного поршня с головкой из стали или чугуна, а в перспективе из композитного материала, или цельнометаллического поршня со специальным покрытием на огневой поверхности, обеспечивающее уменьшение теплоотвода от газов в надпоршневом объеме цилиндра и, тем самым, увеличение температуры газов в цилиндре.

Заключение

1. В статье определены основные направления развития двигателей с НССИ-процессом, позволяющие решить вопросы управления моментом самовоспламенения смеси и расширения диапазона режимов работы двигателя, а именно:

- использование НССИ-процесса в сочетании с процессом с принудительным воспламенением от свечи зажигания на высоких нагрузках и при запуске холодного двигателя;
- сочетание распределенного и непосредственного впрыска с использованием изменяемых фаз газораспределения и рециркуляции отработавших газов;
- совместное использование регулируемого турбонаддува и рециркуляции отработавших газов;

- использование НССИ-процесса в гибридных силовых установках;
- изменение подогрева рабочей смеси на впуске в двигатель;
- рециркуляция ОГ;
- внутренняя рециркуляция ОГ с использованием механизма изменения фаз газораспределения;
- регулирование химического состава топлива;
- торможение реакций самовоспламенения за счет воздействия на термохимическое состояние заряда;

– изменение интенсивности теплообмена и динамики роста температуры в цилиндре, в первую очередь, за счет изменения температуры днища поршня.

2. Проведены расчетные исследования процесса с воспламенением гомогенной смеси от сжатия.

Установлено, что наибольшее влияние на процесс гомогенизации топливоздушной смеси оказывает увеличение температуры поверхности днища поршня. При увеличении температуры днища поршня с 280 °С до 500 °С относительная масса испарившегося топлива увеличивается в 3 раза.

Уменьшение диаметра капель с 0,1 мм до 0,03 мм приводит к росту относительной массы испарившегося топлива в 2 раза.

Влияние температуры смеси и топлива рассчитывалась для двух вариантов (температуре смеси 50 °С и при температурах воздуха 30 °С и топлива 60 °С). Как показали расчеты на такте сжатия разница в испарившемся топливе увеличивается. На такте сжатия для варианта смеси с температурой топлива 60 °С относительная масса испарившегося топлива увеличивается в 2 раз.

Литература

1. Гусаков С.В., П. Вальехо Мальдонадо, Довольнов А.М., Епифанов И.В. Автотранспортный ДВС с самовоспламенением гомогенного заряда // Тракторы и сельскохозяйственные машины. 2008. № 5. С. 19–25.
2. Тер-Мкртчян Г.Г. Двигатели внутреннего сгорания с нетрадиционными рабочими циклами. Учебное пособие. М., МАДИ, 2015.
3. Dahl D. Gasoline Engine HCCI Combustion. Extending the high load limit // Department of Applied Mechanics CHALMERS UNIVERSITY OF TECHNOLOGY Gøteborg, Sweden, 2012, pp. 1–96.

4. Хрипач Н.А., Татарников А.П. Реализация процесса управляемого самовоспламенения в бензиновом двигателе посредством совместного использования регулируемого наддува и рециркуляции отработавших газов // 85-я Международная научно-техническая конференция «Будущее автомобилестроения в России», Сборник трудов, М., 2014. С. 26–29.
5. Кавтарадзе Р.З., Зиновьев И.А. Влияние частичной гомогенизации процесса сгорания на экологические показатели дизеля // Серия «Машиностроение». 2016. № 4. С. 1–20.
6. Камалтдинов В.Г., Марков В.Г. Расчетное исследование процесса сгорания и показателей рабочего цикла НССИ двигателя, работающего на смеси природного газа и диметилового эфира // «АвтоГазозаправочный комплекс + Альтернативное топливо» («АГЗК+АТ»), № 6 (54). 2010. С. 8–16.
7. Камалтдинов В.Г., Абелиович Е.В., Терехов А.С. Моделирование процесса сгорания в ДВС с воспламенением гомогенного заряда от сжатия // Вестник ЮУрГУ. 2007. № 25. С. 44–47.
8. Лежнев Л.Ю., Хрипач А.Н., Шустров Ф.А., Иванов Д.А., Назаров В.Е. Математическое моделирование процессов двигателя внутреннего сгорания мобильного (бортового) зарядного устройства электрических силовых установок городского транспорта // Научное обозрение. Технические науки. 2014. № 1. С. 229–230.
9. Каменный А.В., Макаров А.Р., Костюков А.В., Пустынцев М.Е. Гомогенизация топливоздушной смеси в ДВС, работающих по циклу Отто-Дизеля // Автомобильная промышленность. 2013. № 7. С. 6–10.
10. Кулешов А.А., Стребков К.А. Обоснование рациональных технических параметров малотоксичного дизеля для подземного горно-транспортного оборудования // Ползуновский вестник. 2009. № 1–2. С. 55–58.
11. Najt P.M., Foster D.E. Compression-ignited homogeneous charge combustion. SAE Technical paper; 1983.

References

1. Gusakov S.V., P. Val'ekho Mal'donado, Dovol'nov A.M., Epifanov I.V. Autotransport ICE with self-ignition of a homogeneous charge. *Traktory i sel'skokozyajstvennye mashiny*, 2008. No 5, pp. 19–25 (in Russ.).
2. Ter-Mkrtych'yan G.G. *Dvigateli vnutrennego sgoraniya s netradicionnymi rabochimi ciklami. Uchebnoe posobie* [Internal combustion engines with non-traditional operating cycles. Tutorial]. Moscow, MADI Publ., 2015.

3. Dahl D. Gasoline Engine HCCI Combustion. Extending the high load limit // Department of Applied Mechanics CHALMERS UNIVERSITY OF TECHNOLOGY Gütteborg, Sweden, 2012, pp. 1–96.
4. Hripach N.A., Tatarnikov A.P. The implementation of the process of controlled self-ignition in a gasoline engine through the sharing of controlled boost and exhaust gas recirculation. *85-ya Mezhdunarodnaya nauchno-tehnicheskaya konferenciya «Budushchee avtomobilstroeniya v Rossii», Sbornik trudov* [The 85th International Scientific and Technical Conference “The Future of Automotive Industry in Russia”, Proceedings], Moscow, 2014, pp. 26–29 (in Russ.).
5. Kavtaradze R.Z., Zinov'ev I.A. The influence of partial homogenization of the combustion process on the environmental performance of a diesel engine. *Seriya «Mashinostroenie»*, 2016. No 4, pp. 1–20 (in Russ.).
6. Kamaltdinov V.G., Markov V.G. Calculation study of the combustion process and the duty cycle parameters of an HCCI engine operating on a mixture of natural gas and dimethyl ether. *«AvtoGazoZaprav- ochnyj kompleks + Alternativnoe toplivo» («AGZ-K+AT»)*. No 6(54), 2010, pp. 8–16 (in Russ.).
7. Kalmatdinov V.G., Abeliovich E.V., Terebov A.S. Modeling the combustion process in an internal combustion engine with the ignition of a homogeneous charge from compression. *Vestnik YUUrGU*, 2007. No 25, pp. 44–47 (in Russ.).
8. Lezhnev L.YU., Hripach A.N., SHustrov F.A., Ivanov D.A., Nazarov V.E. Mathematical modeling of the internal combustion engine processes of the mobile (on-board) charger of electric power units of urban transport. *Nauchnoe obozrenie. Tekhnicheskije nauki*. 2014. No 1, pp. 229–230 (in Russ.).
9. Kamennyj A.V., Makarov A.R., Kostyukov A.V., Pustyncev M.E. Homogenization of the fuel-air mixture in the internal combustion engines operating in the Otto-Diesel cycle. *Avtomobil'naya promyshlennost'*, 2013. No 7, pp. 6–10 (in Russ.).
10. Kuleshov A.A., Strebkov K.A. Substantiation of rational technical parameters of a low-toxic diesel for underground mining equipment. *Polzunovskij vestnik*, 2009. No 1–2, pp. 55–58 (in Russ.).
11. Najt PM, Foster DE. Compression-ignited homogeneous charge combustion. SAE Technical paper; 1983.

INVESTIGATION OF THE MAIN FACTORS OF THE PROCESS OF IGNITION OF A HOMOGENEOUS MIXTURE FROM COMPRESSION IN AN ICE

Ph.D. **A.R. Makarov**¹, Ph.D. **S.V. Smirnov**¹, Ph.D. **A.V. Kostyukov**², **K.A. Ponomareva**¹

¹Peoples' Friendship University of Russia, Moscow, Russia

²Moscow Polytechnic University, Moscow, Russia

a-r-makarov@yandex.ru

An overview of the advantages of an engine with the ignition of a lean homogeneous mixture from compression (HCCI), among which, above all, economic and environmental indicators are presented. There were considered the disadvantages of this engine, hampering the release of batch production, and the main is the difficulty in providing in the combustion chamber the conditions for self-ignition of the working homogeneous mixture near TDC in the entire range of engine operating conditions. The ways of solving the problems of controlling the ignition of the working mixture in the combustion chamber, reducing the noise level and fighting the occurrence of shock loads with increasing load, starting the cold engine and improving the engine with the HCCI process are presented. The main ones can be a combination of distributed and direct injection using variable valve timing and exhaust gas recirculation, the joint use of controlled turbocharging and exhaust gas recirculation, a change in the heating of the working mixture at the inlet to the engine, external and internal exhaust gas recirculation (EGR) phases of gas distribution, regulation of the chemical composition of fuel and changes in the intensity of heat transfer and the dynamics of temperature growth in the cylinder, primarily due to changes in the piston crown temperature. The results of computational studies of the influence of various parameters on the process of ignition of a homogeneous mixture on compression are presented. It is established that the greatest effect on the process of homogenization of the air-fuel mixture is caused by an increase in the surface temperature of the bottom of the piston. Reducing the diameter of the fuel droplets from 0,1 mm to 0,03 mm results causes an increase in the relative mass of evaporated fuel by a factor of 2. Increasing the temperature of the fuel at the inlet also effectively increases the relative mass of the evaporated fuel.

Keywords: HCCI process, mixture formation, homogenization, lean mixture, exhaust gas recirculation, valve timing change, fuel evaporation.