

ИССЛЕДОВАНИЕ ГОРЕНИЯ В ДИЗЕЛЕ (материалы конгресса CIMAC 2013)

Публикуется перевод доклада, сделанного на конгрессе CIMAC–2013 г. и посвященного исследованию горения в дизелях с частичным предварительным смешением (PPC). Это относительно новая технология, позволяющая снизить уровень вредных выбросов дизеля за счет регулирования угла задержки самовоспламенения для повышения гомогенности воздушно-топливной смеси. Эксперименты проводились на опытном одноцилиндровом двигателе EVE в лаборатории ДВС университета г. Аалто (Aalto University), Финляндия. Размер цилиндра опытного двигателя

позволяет распространить результаты исследования на крупные двигатели, использующие процесс PPC. С помощью модели изучено влияние на рабочий процесс таких факторов, как угол начала впрыска, длительность впрыска, давление впрыска и угол распыла. Показано, что оптимизация указанных параметров позволит существенно сократить выбросы окислов азота и сажи. Дальнейшее улучшение экологических показателей возможно при совместном использовании PPC и EGR.

Перевод докладов выполнен к.т.н. Г. Мельником

РАСЧЕТНО-ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОЕ ИССЛЕДОВАНИЕ ГОРЕНИЯ С ЧАСТИЧНЫМ ПРЕДВАРИТЕЛЬНЫМ СМЕШЕНИЕМ (PPC) В СУДОВОМ ДИЗЕЛЕ ПРИ ЧАСТИЧНОЙ НАГРУЗКЕ

*Kendra Shrestha, Ossi Kaario, Martti Larmi,
Teemu Sarjovaara, Matteo Imperato,
Aalto University of Technology, Финляндия*

Реферат

На протяжении многих десятилетий дизельный двигатель в автомобильной промышленности считался наиболее мощным, экономичным и эффективным источником энергии. Однако работа дизеля порождает целый ряд экологических проблем, решение которых требует значительных усилий конструкторов и исследователей. За последние годы был разработан ряд методов, позволяющих снизить уровень вредных выбросов дизельных двигателей. Одним из новейших и наиболее перспективных методов снижения выбросов считается сжигание с частичным предварительным смешением (Partially Premixed Combustion — PPC).

Идея метода состоит в регулировании угла задержки самовоспламенения для повышения гомогенности (однородности) воздушно-топливной смеси. PPC повышает качество сгорания, способствуя снижению выбросов сажи и окислов азота. В докладе приводятся итоги проверки (валидации) математических моделей по результатам натурных измерений, а также анализ процессов соударения топливного факела со стенками камеры сгорания и испарения топлива в режиме PPC при разных углах начала впрыска. Выполнено исследование корреляции между временем начала впрыска и распределением паров топлива при соударении факела со стенками камеры сгорания.

Эксперименты проводились на опытном одноцилиндровом двигателе EVE с диаметром

цилиндра 200 мм в лаборатории ДВС университета г. Аалто (Aalto University), Финляндия. Диаметр цилиндра опытного двигателя позволяет распространить результаты исследования на крупные двигатели, использующие процесс PPC. Моделирование производилось с использованием коммерческого программного пакета STAR CD. Рассматривались возможности варьирования различных параметров впрыска для ослабления эффекта удара струи топлива о стенку и улучшения смесеобразования в целях повышения качества процесса сгорания и снижения вредных выбросов. Показаны данные о влиянии угла начала впрыска топлива на дальнобойность топливного факела и на распределение паров топлива в объеме камеры сгорания. Для оценки роли раннего впрыска был выполнен анализ влияния угла начала впрыска топлива на среднюю плотность и среднюю температуру заряда, долю испарившихся капель топлива, а также дальнобойность топливного факела. В качестве основных факторов, влияющих на рабочий процесс в режиме PPC, были исследованы следующие параметры: угол начала впрыска, длительность впрыска, давление впрыска и угол распыла. Рассмотрен характер влияния каждого из этих факторов на рабочий процесс. При исследовании распределения паров топлива по объему камеры сгорания рассматривались различные варианты многофазного впрыска, в том числе возможности применения EGR для управления температурой смеси, что позволяет изменять угол начала впрыска в более широком диапазоне.

Введение

Снижение вредных выбросов входит в число важнейших и в то же время наиболее трудных задач, стоящих перед двигателестроителями. За последние годы был разработан и внедрен ряд технологий, направленных на снижение вредных выбросов от двигателей внутреннего сгорания.

Относительно новым и наиболее перспективным методом снижения выбросов является сжигание топлива с частичным предварительным смешением (Partially Premixed Combustion — PPC). Сжигание с частичным предварительным смешением можно рассматривать как частный случай низкотемпературного сгорания (Low Temperature Combustion — LTC) — процесса, в котором используется высокая степень рециркуляции отработавших газов (Exhaust Gas Recirculation — EGR) в сочетании с управляемым впрыском. При этом закон впрыска подбирается таким образом, чтобы обеспечивалась задержка самовоспламенения, достаточная для хорошего смешения топлива с воздухом до начала горения. Метод PPC позволяет существенно снизить выбросы NO_x и дымность. При этом рабочий процесс более управляем, чем при использовании HCCI [1].

Нельзя при этом забывать, что топливо является невозобновляемым источником энергии. Поэтому с учетом роста мирового населения и индустриализации жизни становится понятным огромное значение, которое всегда придавалось экономии топлива.

В настоящее время ведутся интенсивные исследования технологий впрыска и горения топлива, которые обеспечивают минимальный уровень вредных выбросов. Применение технологии PPC сталкивается с определенными проблемами, в числе которых — соударение струи топлива со стенкой гильзы цилиндра в результате раннего впрыска. Это приводит к росту расхода топлива, выбросу несгоревших углеводородов и разжижению смазочного масла. С точки зрения повышения эффективности рабочего процесса желательнее позднее самовоспламенение рабочей смеси. Преждевременное самовоспламенение, происходящее до ВМТ, приводит к росту выбросов NO_x и снижению мощности. Отсюда становится понятным, насколько важен правильный выбор закона предварительного впрыска для оптимизации рабочего процесса и снижения вредных выбросов.

Проводятся также интенсивные исследования, направленные на предотвращение соударения топливного факела со стенками камеры сгорания за счет изменения ориентации факела и формы камеры в поршне [2]. Чем больше угол распыла (раскрытия факела), тем больше вероятность соударения струи топлива со стенкой при использовании раннего впрыска пилотного топлива (Early Pilot Injection — EPI) [3]. Усиленная турбулизация факела также должна учитываться при анализе проблем, связанных со взаимодействием топливного факела и стенкой цилиндра [4, 5]. Неоднократно предпринимались попытки объединения сужения угла распыла с использо-

ванием EGR, чтобы избежать удара факела о стенку втулки цилиндра, чтобы и добиться лучшего смешения топлива с воздухом [6]. В работе Genzale и др. [7] исследовалось влияние геометрии камеры сгорания на однородность воздушно-топливной смеси. Авторы выяснили, что увеличение диаметра камеры в поршне (до 80 % диаметра поршня) ведет к тому, что богатая смесь концентрируется, в основном, в центре камеры сгорания, не достигая стенок и зоны взаимодействия факела со стенками.

В работе Abdhullah и др. [8] исследовалось влияние давления топлива в многоступенчатом впрыске на рабочий процесс. Показано, что увеличение давления впрыска способствует значительному улучшению показателей двигателя и снижению вредных выбросов. Для дальнейшего снижения выбросов была успешно применена рециркуляция отработавших газов (EGR).

Как показано в работе Seung и др. [9], большой угол распыла (обычно применяемый на практике) предпочтителен для одиночного впрыска, если впрыск производится в конце такта сжатия. При этом основная часть топлива сосредоточена внутри камеры в поршне. Уменьшение угла распыла в данном случае приводит к тому, что топливный факел бьет прямо в стенку камеры в поршне. Поэтому малый угол распыла топлива предпочтителен для улучшения гомогенизации смеси в случае раннего пилотного впрыска (EPI).

В работе Jesus и др. [10] изучался процесс горения с частичным предварительным смешением раннего пилотного впрыска. Исследование выполнено при использовании поршней двух типов, отличающихся геометрией камеры сгорания (цилиндрической формы и открытой), при малом угле распыла. Учитывая недостатки процесса EPI (соударение факела топлива со стенкой цилиндра и камеры в поршне и разжижение масла) при одиночном впрыске (обычно вблизи ВМТ), авторы использовали метод так называемого улучшенного одиночного впрыска (Advanced Single Injection), когда одиночный впрыск выполняется несколько позже, чем EPI. При этом было достигнуто заметное снижение дымности отработавших газов, хотя выбросы NO_x оставались на прежнем уровне.

В работе Boot и др. [11] было исследовано влияние соударения топливного факела со стенками цилиндра и камеры в поршне на выбросы углеводородов (Unburnt Hydrocarbon Emissions — UHC) при использовании одиночного впрыска в режиме PPC. Для снижения орошения стенок топливом авторы изменяли температуру воздуха на входе, температуру топлива, давление воздуха на входе и давление топлива.

Технические характеристики двигателя

Число цилиндров	1
Ход поршня, мм	280
Диаметр цилиндра, мм	200
Длина шатуна, мм	614
Число клапанов	4
Скорость двигателя, об/мин	900
Диаметр соплового отверстия, мм	0,36
Число форсунок	9
Угол распыла	153°

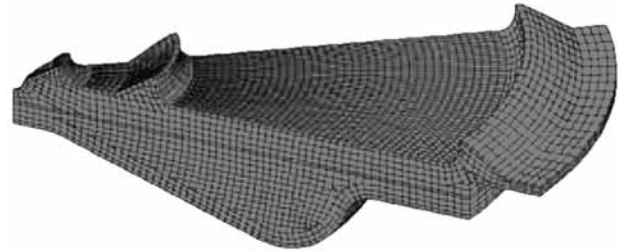


Рис. 1. Расчетная матрица для аэродинамической модели рабочего процесса в районе ВМТ

В работе Iwabunchi и др. [12] исследовалась система с предварительным пилотным впрыском, в которой формирование обедненной смеси было замедлено. Как оказалось, струя топлива имеет тенденцию «притягиваться» к стенкам цилиндра и камеры сгорания. Для предотвращения указанного эффекта была создана и испытана форсунка с коротким факелом. В результате удалось улучшить диспергирование топлива, повысить тонкость распыла и сократить период впрыска. При этом выбросы NO_x значительно снизились, однако расход топлива несколько увеличился.

В работе Ra и др. [13] исследовались возможности системы впрыска, формирующей факел переменной геометрией (Variable Geometry Spray), что позволило менять угол распыливания на такте сжатия. За счет этого удалось эффективно регулировать момент самовоспламенения и устранить попадание топлива на стенки.

Из приведенного выше краткого обзора можно сделать вывод, что в двигателе с PPC улучшение показателей рабочего процесса может быть достигнуто за счет совершенствования системы впрыска и оптимизации формы камеры в поршне. Напомним, что в обычных системах впрыска возможно значительное повышение локальных концентраций топлива в отдельных зонах и разжижение масла из-за попадания топлива на стенку цилиндра, что повышает уровень вредных выбросов. Поэтому целью настоящей работы было обеспечение высокой однородности воздушно-топливной смеси в режиме PPC и предотвращение попадания топлива на стенку цилиндра до начала сгорания.

Опытный двигатель

Основные характеристики двигателя

Исследования были выполнены на одноцилиндровом отсеке так называемого оптимального двигателя (Extreme Value Engine — EVE) в лаборатории ДВС университета Аалто. Диаметр цилиндра опытного двигателя, равный 200 мм, позволяет обобщить результаты исследования на крупные двигатели, использующие принцип PPC. Отсек EVE является среднеоборотным дизелем с широкими возможностями настройки и изменения конфигурации, что позволяет работать при различных значениях рабочих параметров, включая параметры впрыска. Основные характеристики двигателя EVE приведены в табл. 1. Двигатель рассчитан на давление в цилиндре до 300 бар [14].

Расчетная матрица

Расчетная матрица для двигателя EVE показана на рис. 1. Модель двигателя включает 9 форсунок, расположенных равномерно по окружности в головке цилиндра. Таким образом, камера сгорания

разбита на 9 секторов по 40° с индивидуальными граничными условиями. Модель точно воспроизводит все геометрические особенности камеры сгорания, включая головку цилиндра, камеру в поршне и зону смешения. В компьютерной модели сохранена реальная геометрическая степень сжатия. Общее число ячеек матрицы моделирования в НМТ равно 185 665. На такте сжатия слой ячеек деформируется. В подпрограмме Event пакета Star CD часть слоев матрицы удаляется, для того чтобы размеры ячеек на такте сжатия соответствовали размерам ячеек головки цилиндра и камеры в поршне вблизи ВМТ. В ВМТ общее число ячеек сокращается до 32 800.

Модель турбулентности

Модель « k -эпсилон» основана на системе из двух уравнений. В модели уравнения переноса решаются относительно двух переменных — k и ϵ , — характеризующих турбулентность потока. Уравнение « k -эпсилон» выводится из уравнения Навье–Стокса методом группового перенормирования [15]. Модель турбулентности, использованная в данном исследовании — это RNG-модель для переменных k - ϵ . В этой модели значения коэффициентов вычисляются с помощью (Re)Normalization Group — RNG) анализа. Впервые данную модель применили Yakhot и Orszag. Метод основан на том, что коэффициенты уравнений находятся не эмпирическим методом, а с помощью RNG-анализа. Уравнение для мощности рассеяния представляет собой модификацию стандартного уравнения « k -эпсилон», тогда как

уравнение переноса кинетической энергии не меняется. Уравнение переноса кинетической энергии для турбулентного потока имеет вид:

$$\frac{\partial(\rho k)}{\partial t} + \frac{\partial}{\partial x_j} \left(\rho u_j k - \left(\mu + \frac{\mu_t}{\sigma_k} \right) \frac{\partial k}{\partial x_j} \right) = \mu_t (P + P_B) - \rho \varepsilon - \frac{2}{3} \left(\mu_t \frac{\partial u_i}{\partial x_i} + \rho k \right) \frac{\partial u_i}{\partial x_i}, \quad (1)$$

а уравнение для мощности рассеяния:

$$\frac{\partial(\rho \varepsilon)}{\partial t} + \frac{\partial}{\partial x_j} \left(\rho u_j \varepsilon - \left(\mu + \frac{\mu_t}{\sigma_\varepsilon} \right) \frac{\partial \varepsilon}{\partial x_j} \right) = C_{\varepsilon 1} \frac{\varepsilon}{k} \left[\mu_t P - \frac{2}{3} \left(\mu_t \frac{\partial u_i}{\partial x_i} + \rho k \right) \frac{\partial u_i}{\partial x_i} \right] + C_{\varepsilon 3} \frac{\varepsilon}{k} \mu_t P_B - C_{\varepsilon 2} \rho \frac{\varepsilon^2}{k} + C_{\varepsilon 4} \rho \frac{\partial u_i}{\partial x_i} - \frac{C_{\mu} \eta^3 \left(1 - \frac{\eta}{\eta_0} \right) \rho \varepsilon^2}{1 + \beta \eta^3} \frac{1}{k}, \quad (2)$$

где $\eta = S(k/\varepsilon)$, η_0 и β — эмпирические коэффициенты.

Как видно из уравнения (2), в уравнении мощности рассеяния турбулентного потока добавился еще один член [16].

Валидация моделей двигателя и турбулентного потока была ранее выполнена Каагио и др. [17].

Модель процесса сгорания

Для моделирования процесса сгорания использован программный пакет DARS-TIF, основанный на моделях нестационарных процессов самовоспламенения и горения топлива в работах по химической кинетике. Процесс сгорания состоит из множества различных, но взаимосвязанных физических явлений. В их число входят турбулентный воздушный поток, впрыск топлива, испарение капель и сгорание. Для описания этих процессов необходимо иметь адекватные модели и, в частности, достаточно точную модель горения. Такая модель может быть построена с использованием программного пакета DARS-TIF, позволяющего имитировать все основные химические процессы и тем самым минимизировать стоимость моделирования [18].

Программный пакет DARS-TIF основан на флеймлет-методе. Флеймлетом называется элементарный очаг одномерного тонкого ламинарного пламени, находящийся в поле турбулентного потока. Для экономии времени счета моделирование химических реакций горения и гидродинамики ведется по отдельности. Задача горения напрямую не решается даже в простейшем случае ввиду слишком большого количества уравнений. Поэтому для прецизионного моделирования химических реакций используется функция переменной смешения (mixture fraction) и ее дисперсия. При этом решение вычисляется не для

каждой ячейки, а для каждого значения переменной смешения (Z). Имеется специальная подпрограмма для детального моделирования химических процессов. Связь между обоими компонентами моделирования определяется скалярной мощностью рассеяния, которая в значительной мере характеризует турбулентность потока.

Модель процесса сгорания DARS-TIF основана на следующих уравнениях:

$$\rho \frac{\partial Y_i}{\partial \tau} = \rho \frac{\chi}{2} \left(\frac{\partial^2 Y_i}{\partial Z^2} \right) + \omega_i; \quad (3)$$

$$\rho \frac{\partial h}{\partial \tau} = \rho \frac{\chi}{2} \left(\frac{\partial^2 h}{\partial Z^2} + \frac{\partial p}{\partial t} - q \right) \quad (4)$$

где Y_i — массовая доля элемента i ; ρ — плотность; τ — время флеймлета; Z — переменная смешения; ω_i — член уравнения, характеризующий химический компонент i ; h — термохимическая энтальпия; p — давление и q — член уравнения, характеризующий потери тепла.

Скалярная мощность рассеяния определяется из уравнений:

$$\chi = 2D \left(\frac{\partial Z}{\partial x_\alpha} \right)^2; \quad (5)$$

$$\chi = 2 \frac{\varepsilon}{k} Z'^2, \quad (6)$$

где Z' — диапазон изменения переменной смешения.

Используемое топливо — n -гептан, имеющий 209 разновидностей и вступающий в 2159 реакций. Проверка моделей горения DARS-TIF на дизеле была ранее выполнена Каагио и др. [19, 20].

Модель разрушения капель

Для имитации процесса разрушения капель была использована модель Reitz-Diwakar [21]. Согласно этой модели существуют два механизма разрушения капель под действием аэродинамических сил:

1) мешочный, при котором капля из-за неравномерности окружающего ее поля давления удлиняется в направлении более низкого давления и в конце концов разрывается, когда усилие от перепада давления преодолевает силу поверхностного натяжения;

2) разрывной, при котором часть жидкости как бы отрезается от капли или вырывается из ее поверхности.

На основе теории можно установить критерий, определяющий начало разрушения капли, и вычислить стабильный диаметр капли, а также построить временной график процесса

Модель удара струи в стенку

Для имитации удара струи в стенку используется модель Bai [22], построенная на основе

метода Лагранжа. Модель рассматривает ситуацию, когда температура стенки ниже точки кипения топлива. При этом влияние соседних капель и пограничного газового слоя на динамику удара считается пренебрежимо малым. Модель учитывает различие между «сухим» и «влажным» типами соударения. А именно: для первого характерны явления «притяжения», «растекания» и «разбрызгивания», для второго — «отскока», «растекания» и «разбрызгивания».

Опытная проверка расчетной модели

Опытная проверка (валидация) расчетной модели проводилась сравнением измеренных значений давления в цилиндре с теоретическими, полученными в результате моделирования. Валидация проводилась для случаев обычного (одиночного) впрыска и многофазного впрыска (валидация для режима PPC). В обоих случаях использовалась модель DARS-TIF. Результаты валидации представлены в табл. 2. На рис. 2 и 3 показаны сравнительные графики изменения давления в цилиндре для обоих случаев.

Таблица 2

Условия валидации

Конфигурация	Одиночный впрыск	Многофазный впрыск
Пилотный впрыск (начало впрыска до ВМТ)	—	30
Основной впрыск (начало впрыска до ВМТ)	4	4
Цикловая подача (мг/цикл)	657,1	652
Общее значение, л	1,98	2

В программе DARS-TIF смешение выражается через скалярную мощность рассеяния, которая является функцией градиента переменной смешения. В полностью однородной смеси градиент переменной смешения равен нулю. Обычно в таких условиях модель, основанная на градиенте переменной смешения, работает плохо. Однако в данном случае эта модель дает вполне удовлетворительные результаты. В случае многофазного впрыска (валидация для режима PPC) пик расчетного давления оказывается несколько выше, чем в эксперименте. Возможное объяснение заключается в том, что расчет дает несколько завышенное количество паров топлива пилотного впрыска.

Анализ удара струи о стенку и распределения паров топлива

Существующая система впрыска

Существующая форсунка двигателя EVE характеризуется конусом угла распыла топлива, равным 153° при диаметре сопловых отверстий 0,36 мм. Чтобы лучше понять механизм рабочего процесса с PPC, авторы начали работу с существующей системой впрыска без учета сгорания с тем, чтобы установить связь между законом впрыска и характером удара струи о стенку. Как оказалось, существующие параметры системы не являются оптимальными для режима PPC, поскольку, как показано на рис. 4, основная часть цикловой подачи сосредоточивается на периферии камеры сгорания. Поэтому при существующей системе впрыска двигателя EVE топливо

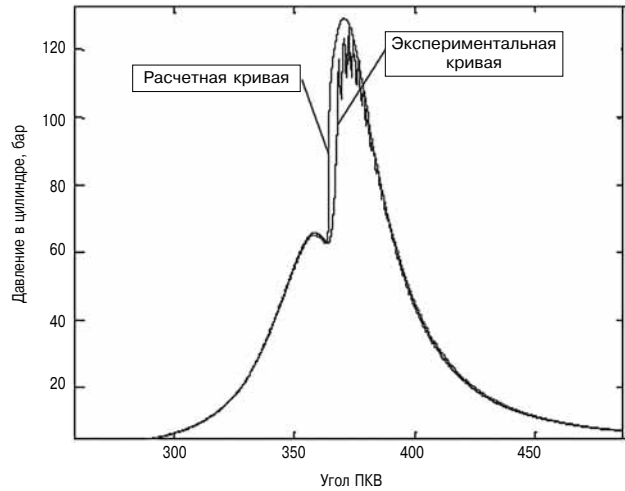


Рис. 2. Одиночный впрыск

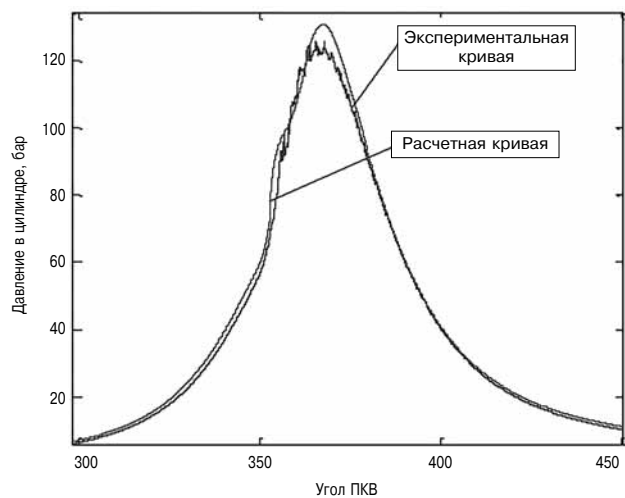


Рис. 3. Многофазный впрыск

вующей системой впрыска без учета сгорания с тем, чтобы установить связь между законом впрыска и характером удара струи о стенку. Как оказалось, существующие параметры системы не являются оптимальными для режима PPC, поскольку, как показано на рис. 4, основная часть цикловой подачи сосредоточивается на периферии камеры сгорания. Поэтому при существующей системе впрыска двигателя EVE топливо

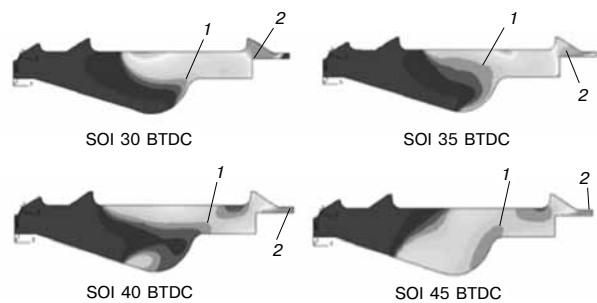


Рис. 4. Коэффициент избытка горючего в ВМТ в существующей системе впрыска, диапазон от 0 (область 1) до 0,5 (область 2)

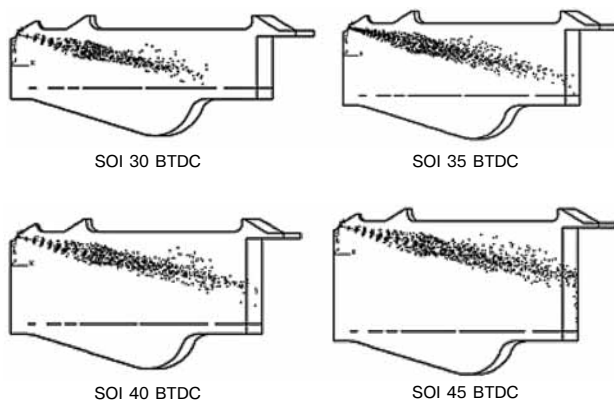


Рис. 5. Визуализация факела в точке 50 ПКВ после начала впрыска

концентрируется на периферии камеры сгорания при любом значении угла начала впрыска. На рис. 5 показана визуализация факела в точке 50 ПКВ после начала впрыска. Из рисунка видно, как меняется взаимодействие между факелом и стенкой цилиндра в зависимости от угла начала впрыска.

Итак, на данном этапе исследования установлено, что обычная конфигурация системы впрыска не обеспечивает достаточной однородности рабочей смеси. Она не препятствует удару факела о стенку, что приводит к повышению уровня вредных выбросов. Следовательно, в существующую систему необходимо было внести определенные изменения, суть которых изложена ниже.

РРС при существующей системе впрыска и при оптимальной геометрии поршня

Первоначально была сделана попытка повысить однородность смеси и устранить взаимодействие между факелом и стенкой, не изменяя существующую систему впрыска. В частности, угол распыла (между факелами) при этом оставался равным 153° . Для этого была оптимизирована форма камеры в поршне, чтобы получить более равномерное распределение паров топлива по ее объему. Моделирование было выполнено для трех вариантов камеры в поршне, которые сравнивались с исходным вариантом по показателю коэффициента избытка горючего в ВМТ. Каждый вариант моделировался при четырех значениях угла начала пилотного впрыска — 45, 40, 35 и 30 град ПКВ до ВМТ. Для сохранения значения степени сжатия объем камеры в поршне не изменялся. Сгорание при этом не учитывалось, так как целью эксперимента было выявить влияние геометрии камеры сгорания на однородность смеси при пилотном впрыске. На рис. 6 показаны формы камеры сгорания, исследуемые в данном эксперименте.

В части взаимодействия струи со стенкой и

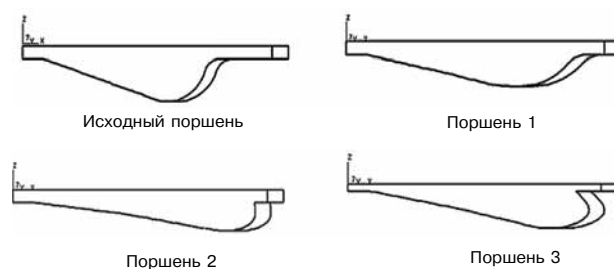


Рис. 6. Формы камеры сгорания

однородности рабочей смеси существенного улучшения не произошло. Предотвратить концентрацию топлива на периферии камеры сгорания не удалось.

Затем было проведено дополнительное моделирование для поршня типа 3 так, чтобы струя топлива направлялась непосредственно в более углубленную часть камеры в поршне, причем угол начала впрыска составлял 25° до ВМТ. Это позволило существенно снизить концентрацию паров топлива в периферийной части камеры сгорания. Из-за высоких значений температуры и давления пилотного топлива соударение струи со стенкой при этом отсутствовало. Данная конфигурация оказалась наиболее благоприятной для процесса впрыска основной порции топлива (вблизи ВМТ), которое попадает не столько на стенки цилиндра, сколько в камеру в поршне.

Влияние давления впрыска

Давление впрыска — один из основных параметров, влияющих на характеристики сгорания. В данном исследовании ставилась задача оценить влияние повышенного давления впрыска на распределение паров топлива и взаимодействие между факелом и стенкой. Моделировался процесс впрыска без сгорания для трех вариантов конфигурации форсунки. При этом объем пилотного топлива составил 30 % от полной цикловой подачи (707 мг/цикл), причем пилотный впрыск осуществлялся при 40° до ВМТ. Угол распыла между факелами был уменьшен до 100° .

1. Влияние давления впрыска на распределение паров топлива и смесеобразование

На рис. 7 показано распределение паров топлива в виде коэффициента избытка горючего при различных давлениях впрыска. Удовлетво-



Рис. 7. Коэффициент избытка горючего в ВМТ при различных давлениях впрыска, диапазон от 0 (область 1) до 0,55 (область 2)

рительное распределение было достигнуто при высоком (2260 бар) давлении впрыска и диаметре сопловых отверстий 0,25 мм. Следовательно, повышение давления впрыска до значений, обеспечивающих более тонкий распыл, позволяет существенно снизить рост концентрации топлива в периферийной области камеры и у ее стенок.

2. Влияние давления впрыска на испарение и распыл топлива

На рис. 8 показано влияние давления впрыска на дальность топливного факела. Малый диаметр соплового отверстия и высокое давление впрыска — факторы, способствующие более тонкому распылу, и, следовательно, более интенсивному испарению топлива, поэтому со-

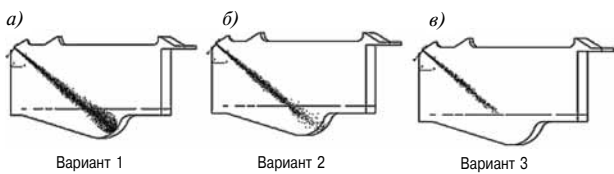


Рис. 8. Влияние давления впрыска на дальность топливного факела

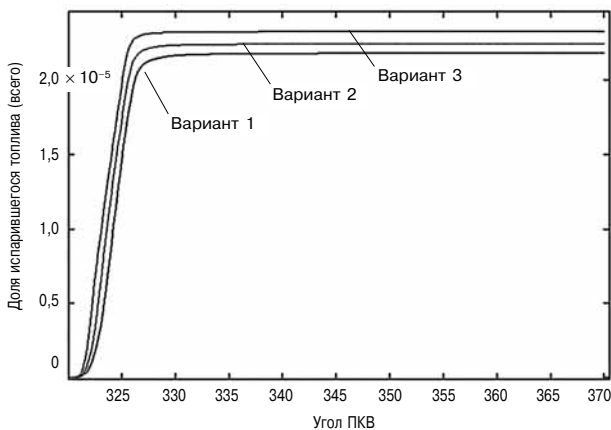


Рис. 9. Влияние давления впрыска на скорость испарения топлива

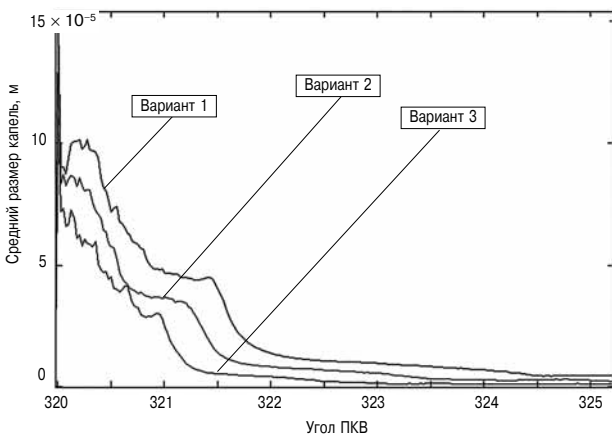


Рис. 10. Влияние давления впрыска на средний диаметр капли по Заутеру

ударение струи топлива со стенкой в данном случае отсутствует.

На рис. 9 и 10 показано влияние повышения давления впрыска на скорость испарения топлива и на средний диаметра капли по Заутеру (SMD) соответственно для трех вариантов конфигурации распылителя форсунки. Следует отметить, что с повышением давления впрыска SMD уменьшается. Доля испарившегося топлива при этом увеличивается. При сокращении длительности впрыска скорость испарения топлива резко возрастает.

Диапазон изменения угла распыла с ростом давления впрыска

Устранение проблем, упомянутых в предыдущем разделе, потребовало определенных изменений в системе впрыска двигателя EVE. Для лучшей гомогенизации смеси и оптимального использования повышенного давления впрыска, а также для исключения контакта факела со стенкой, были проведены эксперименты с изменением следующих параметров: угол распыла между факелами, угол начала впрыска и давление впрыска. Были проверены два варианта с различными значениями давления впрыска, после чего была построена матрица моделирования с различными значениями угла распыла и угла начала впрыска.

Результаты визуализации однородности рабочей смеси при различных значениях угла распыла и угла начала впрыска показали, рабочая смесь стала более однородной, однако контакт факела со стенкой камеры в поршне и увлажнение цилиндровой втулки сохранились почти во всех моделируемых режимах, пока давления впрыска оставалось равным 1200 бар.

Для повышения тонкости распыла и скорости испарения капель было повышено давление впрыска за счет уменьшения диаметра сопловых отверстий до 0,31 мм. С ростом давления впрыска повысилась однородность смеси и уменьшилась

Таблица 3

Варианты конфигурации форсунки с повышенным давлением впрыска

Варианты	Вариант 1	Вариант 2	Вариант 3
Диаметр соплового отверстия, мм	0,34	0,30	0,25
Давление впрыска, бар	660	1090	2260

Таблица 4

Параметры лучших вариантов при изменении угла распыла

Варианты	Давление впрыска	Угол распыла	SOI/CAD
Вариант 1	2128	140	40
Вариант 2	2128		35
Вариант 3	2128	120	35
Вариант 4	2128		30

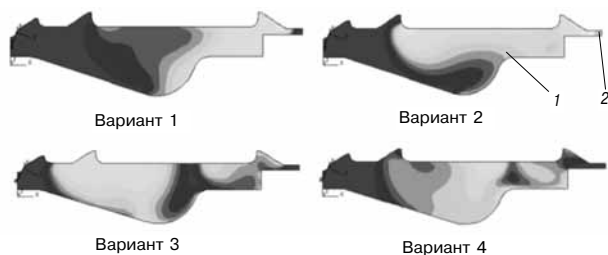


Рис. 11. Коэффициент избытка горючего в ВМТ для лучших вариантов, диапазон от 0 (область 1) до 0,5 (область 2)

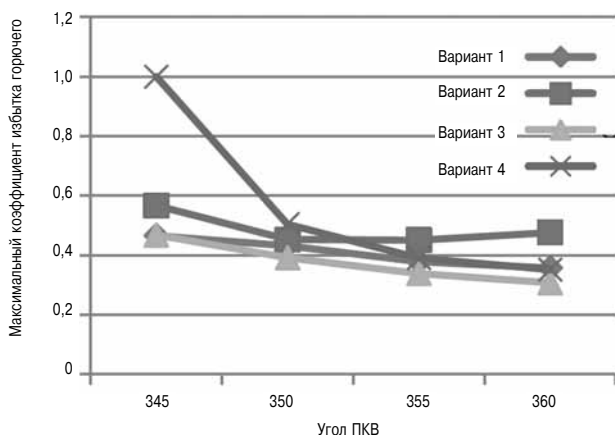


Рис. 12. Максимальный коэффициент избытка горючего для лучших вариантов при различных углах начала впрыска

длина факела. Результаты моделирования нескольких лучших вариантов показаны на рис. 11 и 12. Параметры систем впрыска для этих вариантов сведены в табл. 3 и 4 соответственно.

Влияние EGR

Влияние рециркуляции отработавших газов (EGR) на процесс сгорания в режиме PPC оказалось значительным. Вначале было выполнено исследование влияния EGR на средние значения температуры, давления и выбросов двигателя EVE при одинаковом впрыске топлива. Воздействие упомянутых параметров оценивалось относительно базового варианта (SOI 4 град ПКВ до ВМТ). Для имитации EGR при моделировании в качестве газа для рециркуляции использовался чистый азот. Степень рециркуляции рассчитывалась по формуле:

$$EGR \% = \frac{\text{Расход азота в системе EGR}}{\text{Общий расход газа через двигатель}};$$

$$EGR \% = \frac{\dot{m}_{N2EGR}}{\dot{m}_{tot}}. \quad (7)$$

При наличии EGR температура газов снижается, что влияет на задержку самовоспламенения и образование вредных веществ. Влияние степени рециркуляции моделировалось для трех случаев:

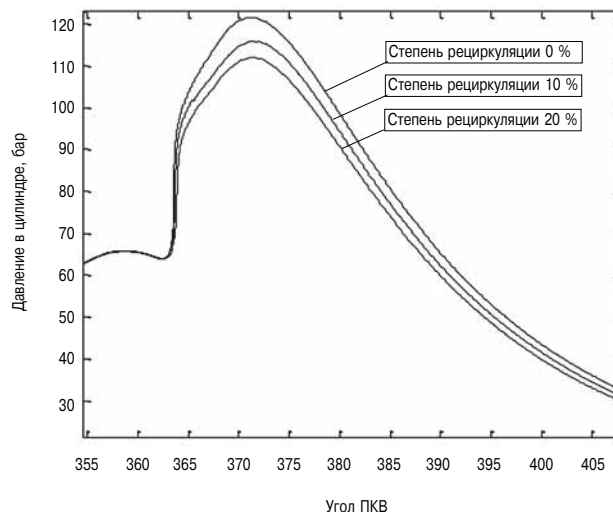


Рис. 13. Влияние степени EGR на величину среднего давления в цилиндре

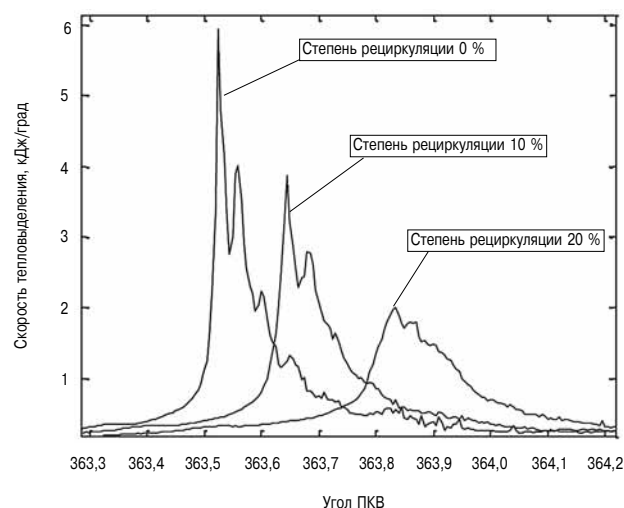


Рис. 14. Влияние степени рециркуляции на скорость тепловыделения (HRR)

- I: рециркуляция отсутствует;
- II: степень рециркуляции равна 10 %;
- III: степень рециркуляции равна 20 %.

Влияние степени рециркуляции на среднее давление в цилиндре и скорость тепловыделения показаны на рис. 13 и 14, из которых видно, как меняется угол задержки самовоспламенения и скорость тепловыделения при увеличении степени EGR.

На рис. 15 и 16 показано влияние степени рециркуляции на выбросы NO_x и сажи. Из построенных графиков видно, что при увеличении степени рециркуляции выбросы NO_x значительно снижаются за счет снижения кислорода, доступного для окисления горючего, в результате чего температура сгорания падает. С другой стороны, при увеличении степени EGR растет

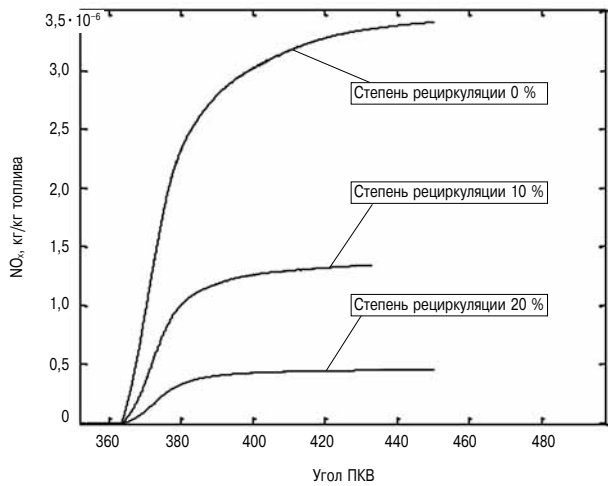


Рис. 15. Влияние степени рециркуляции на выбросы NO_x

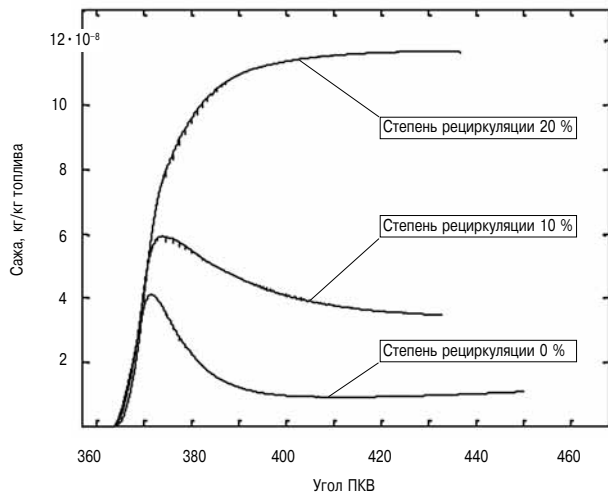


Рис. 16. Влияние степени рециркуляции на выброс сажи

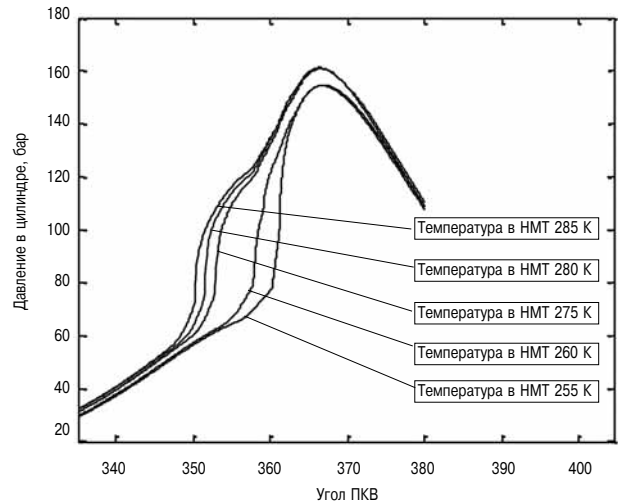


Рис. 17. Влияние начальной температуры смеси в НМТ на давление в цилиндре

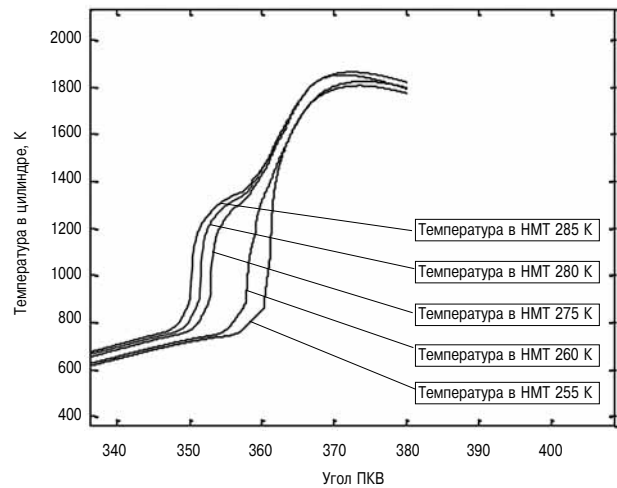


Рис. 18. Влияние начальной температуры смеси в НМТ на среднюю температуру в цилиндре

выброс сажи за счет увеличения подачи инертного газа (азота), что приводит к замедлению окисления горючего.

Анализ сгорания и образования вредных выбросов
Влияние начальной температуры на самовоспламенение

Исходная температура смеси оказывает значительное влияние на момент начала самовоспламенения. Рассмотрим этот эффект подробнее. На первом этапе моделирование работы системы выполнено в условиях, когда впрыск пилотного топлива происходит за 30 град ПКВ до ВМТ, а впрыск основной цикловой подачи топлива — за 4 град ПКВ до ВМТ.

На рис. 17 и 18 показано влияние начальной температуры смеси в НМТ на процесс сгорания. Как видно, увеличение начальной температуры смеси в НМТ приводит к сокращению задержки

самовоспламенения. Следовательно, начальная температура смеси в НМТ может рассматриваться в качестве одного из средств управления моментом самовоспламенения. Чем ниже начальная температура смеси в НМТ, тем больше задержка самовоспламенения.

Влияние давления впрыска и угла распыла

Моделировались четыре варианта конфигурации. За базу принят вариант РРС с началом впрыска за 30 град ПКВ до ВМТ. Объем пилотного впрыска при этом остается постоянным, а угол распыла и давление впрыска варьируются. Основной впрыск осуществляется за 4 град ПКВ до ВМТ, его объем также остается постоянным. Параметры впрыска приведены в табл. 4. Общая цикловая подача равна 652 мг, 37 % из которых приходится на пилотное топливо. Суммарный коэффициент избытка воздуха во всех случаях равен 2.

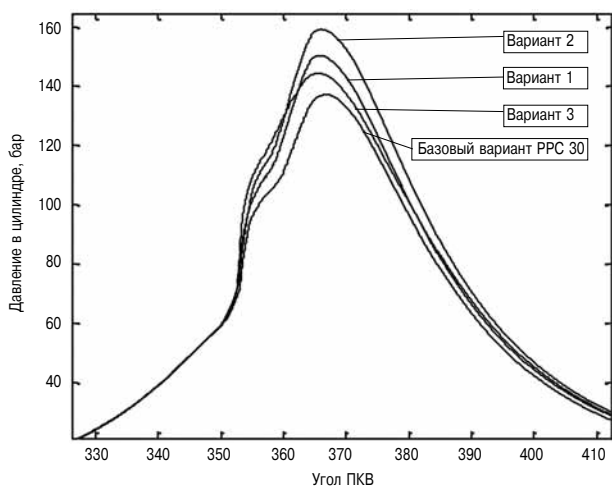


Рис. 19. Среднее давление в цилиндре

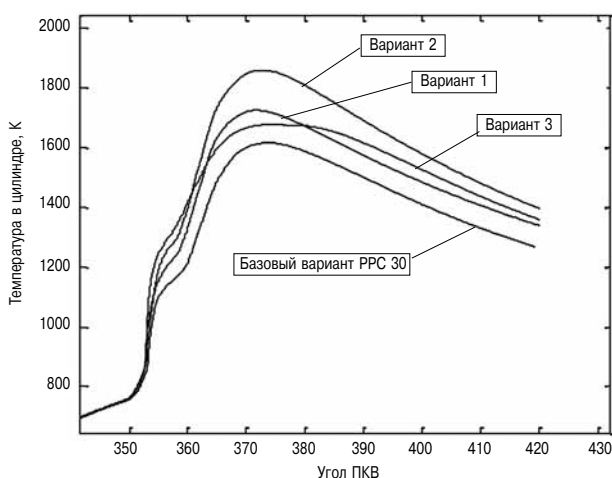


Рис. 20. Средняя температура в цилиндре

Таблица 5

Варианты параметров впрыска для анализа сгорания и образования вредных выбросов

Варианты	Давление впрыска, бар	Диаметр соплового отверстия, мм	Угол распыла	Угол начала впрыска град ПКВ до ВМТ
РРС 30	1200	0,36	153	30
Вариант 1	2182	0,31	140	40
Вариант 2	2182	0,31	140	35
Вариант 3	2182	0,31	120	30

На рис. 19 и 20 показаны средние значения давления и температуры в цилиндре в зависимости от параметров впрыска (табл. 5). Как видно, модель дает для экспериментальных вариантов более высокие пиковые значения обоих термодинамических параметров, чем при базовой настройке, поскольку давление впрыска увеличилось.

На рис. 21 и 22 показаны соответственно доля испарившегося топлива и средний диаметр капли по Заутеру (SMD) для пилотного впрыска. Как

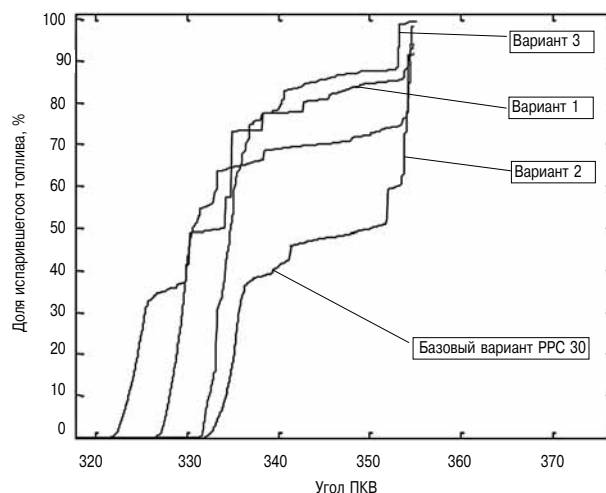


Рис. 21. Доля испарившегося топлива в %

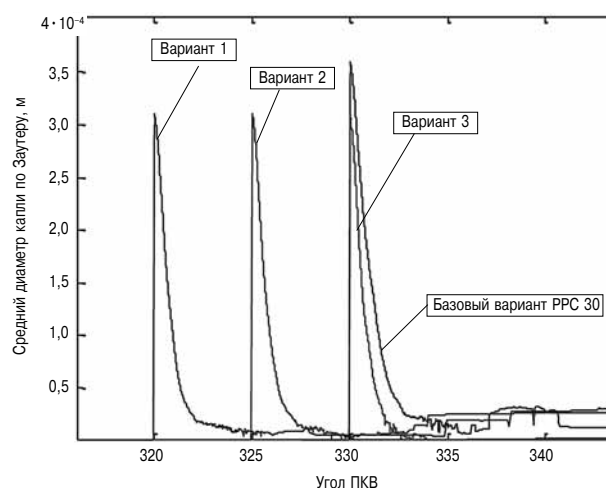


Рис. 22. Средний диаметр капли по Заутеру

видно из рисунков, доля испарившегося топлива сильно зависит как от давления впрыска, так и от угла начала впрыска. Средний диаметр капли также заметно зависит от давления впрыска, в то время как от угла начала впрыска он практически не зависит.

На рис. 23 и 24 показаны соответственно величины выбросов сажи и NO_x . Из графиков видно, что повышение давления впрыска и уменьшение угла распыла привели к существенному снижению выбросов сажи благодаря лучшему качеству смесеобразования. Повышение давления впрыска вызвало небольшое увеличение средней температуры в цилиндре, однако на выбросы NO_x это практически не повлияло. Дальнейшее снижение выбросов NO_x возможно за счет применения EGR.

Сравнивая варианты 2 и 3, следует отметить, что, хотя они отличаются только углом начала впрыска пилотного топлива, разница в уровне выбросов сажи очень заметна. Это объясняется

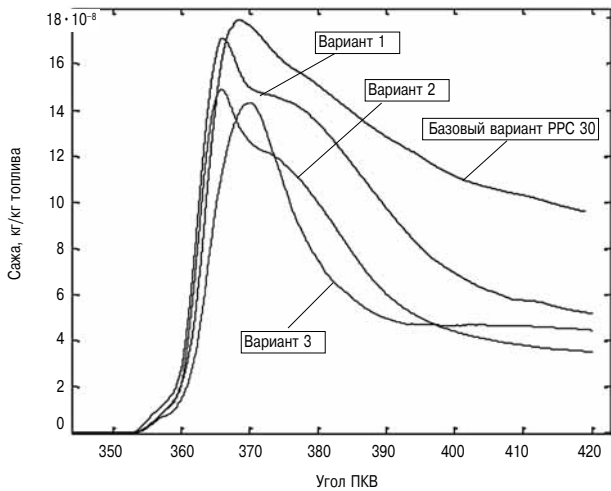


Рис. 23. Средние значения выбросов сажи

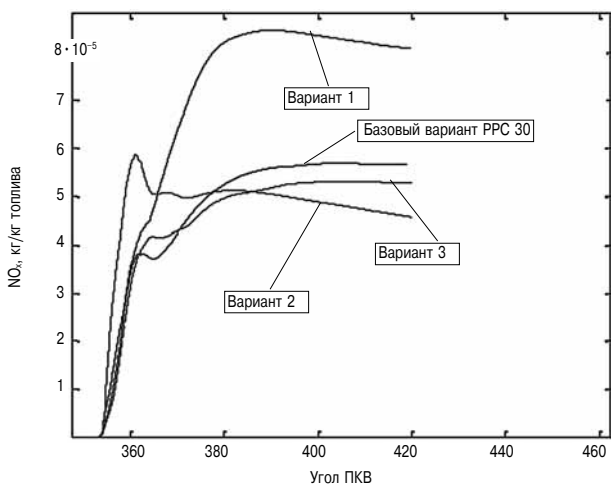


Рис. 24. Средние значения выбросов NO_x

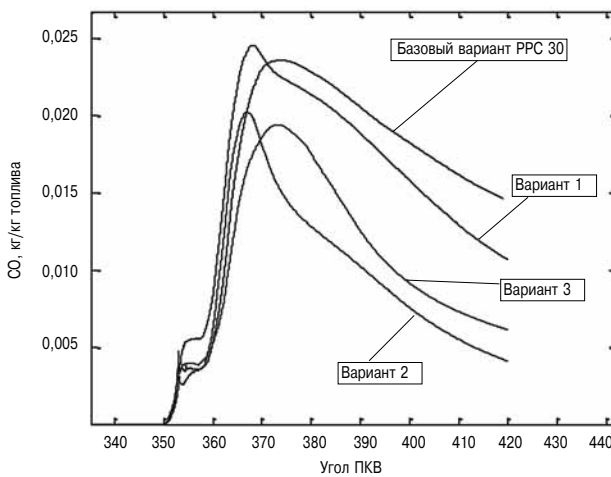


Рис. 25. Средние значения выбросов CO

разницей в концентрации паров топлива на периферии камеры сгорания. Благодаря более позднему пилотному впрыску вариант 2 обеспечивает лучшее качество воздушно-топливной смеси по сравнению с вариантом 1, что способ-

ствует снижению выброса сажи.

Как видно из рис. 25, выбросы CO во всех опытных вариантах снижены по сравнению с базовым вариантом PPC 30. Большое количество несгоревшей CO в базовом варианте свидетельствует о низкой эффективности сгорания.

Реализация EGR

Далее рассмотрены два опытных варианта системы PPC с EGR в сравнении с базовым вариантом, а также с вариантом без EGR. В состав газа, эмитирующего рециркуляцию, входят следующие компоненты: O₂, CO₂, H₂O, CO, H₂ и N₂. При моделировании EGR воздух заменяется газами, имеющими состав приведенный в табл.

Таблица 6

Состав газа, направляемого на рециркуляцию

Газ	Относительная доля
O ₂	0,199493
CO ₂	2,59E-02
H ₂ O	1,23E-02
CO	6,00E-04
H ₂	2,60E-05
N ₂	0,761708

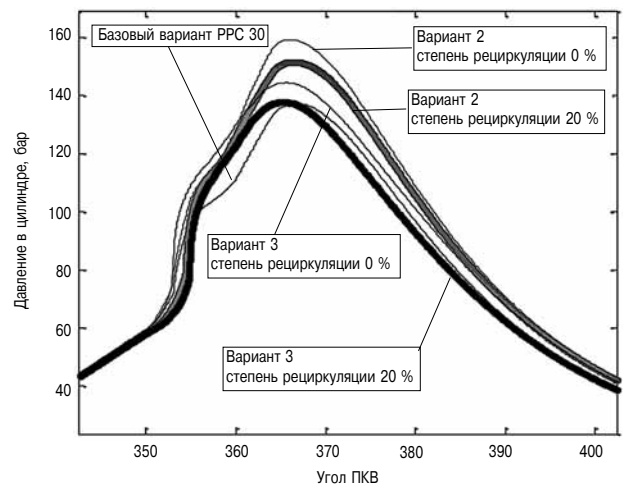


Рис. 26. Среднее давление в цилиндре

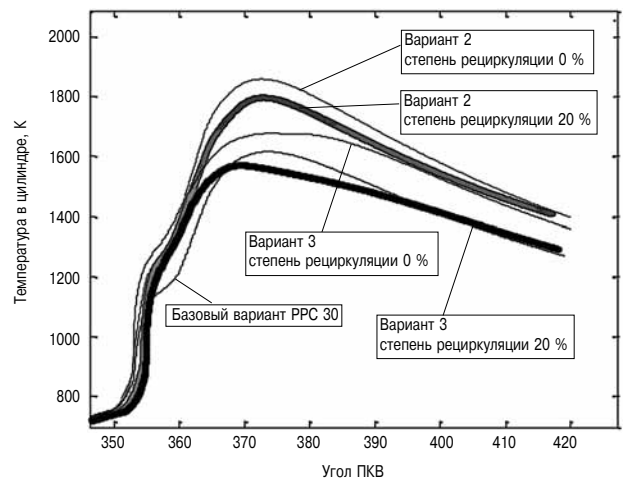


Рис. 27. Средняя температура в цилиндре

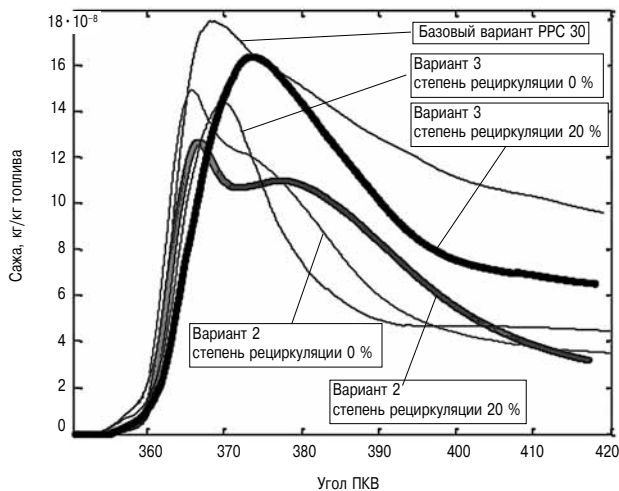


Рис. 28. Средние значения выбросов сажи

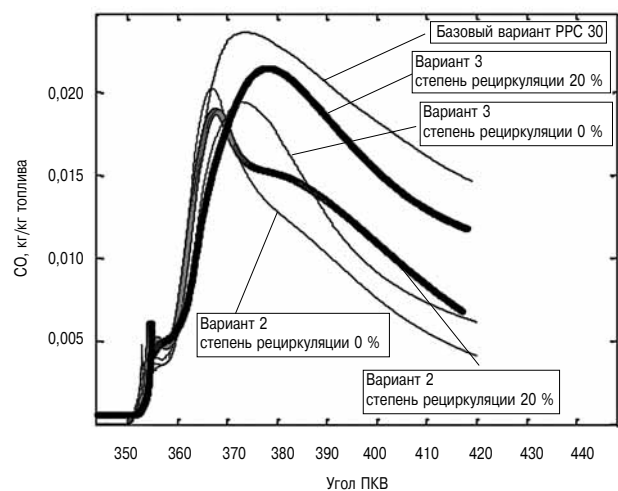


Рис. 30. Средние значения выбросов СО

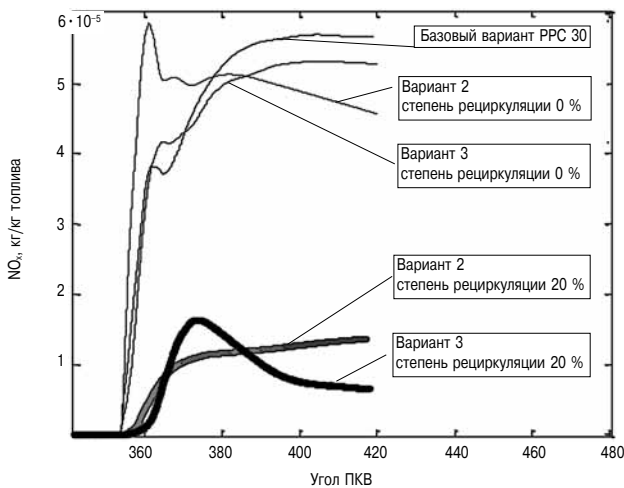


Рис. 29. Средние значения выбросов NO_x

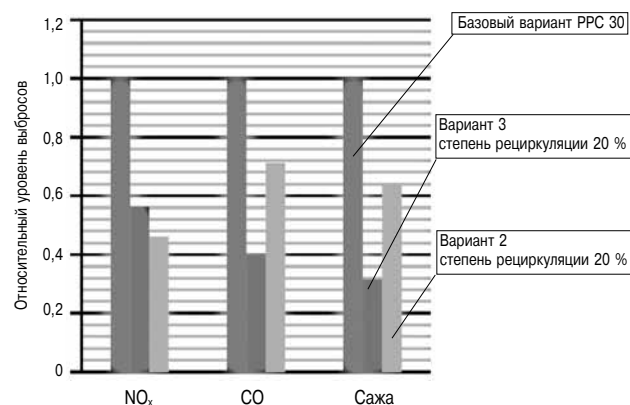


Рис. 31. Сравнение выбросов для опытных и базового вариантов

6, при этом соответственно снижается коэффициент избытка воздуха. Чем выше обогащение смеси азотом (при снижении содержания O₂), тем выше степень рециркуляции. В вариантах 2 и 3 (см. табл. 5) принята степень рециркуляции 20 %, что позволяет оценить влияние EGR на термодинамические параметры и выбросы вредных веществ.

На рис. 26 и 27 показаны расчетные кривые изменения средних значений давления и температуры для опытных вариантов с EGR, базового варианта и варианта без EGR.

На рис. 28–30 показаны усредненные значения выбросов сажи, NO_x и СО. Как показали результаты моделирования, применение EGR дает лишь незначительное снижение выбросов сажи, в то время как снижение выбросов NO_x вполне ощутимо.

Как видно из рис. 31, оптимизация параметров впрыска позволила снизить выбросы по сравнению с базовым вариантом примерно на 40 %.

Выводы

Испарение топлива и взаимодействие факела со стенками

1. Анализ распределения паров воздушно-топливной смеси и взаимодействия факела со стенками свидетельствует о том, что параметры впрыска и форма камеры в поршне, заложенные в существующей конструкции двигателя EVE, не обеспечивают эффективной работы в режиме PPC, и должны быть оптимизированы.

2. Существующая система впрыска характеризуется такими явлениями, как концентрация значительной части топлива на периферии камеры сгорания и соударение топливного факела с ее стенками, что отрицательно влияет на качество рабочего процесса.

3. Результаты моделирования показывают, что к основным факторам, влияющим на качество воздушно-топливной смеси, относятся угол начала впрыска пилотного топлива и положение поршня в этот момент.

4. Выполнено исследование влияния повышенного давления впрыска на различные параметры процесса.

5. Большое влияние на качество воздушно-топливной смеси оказывает угол конуса распыла, а увеличение давления впрыска способствует повышению дисперсии капель топлива и ускоряет их испарение. Оптимизация этих параметров позволяет существенно уменьшить или полностью исключить соударение топливного факела со стенками камеры сгорания.

Сгорание

1. Установлено, что модель Dags-Tif, связывающая скалярную мощность рассеяния с градиентом переменной смешения, в условиях горения с частичным предварительным смешением работает вполне удовлетворительно.

2. Повышение давления впрыска ускоряет испарение капель топлива, размер которых уменьшается при использовании сопловых отверстий меньшего диаметра.

3. Влияние SOI на средний диаметр капли по Заутеру невелико, в то время как влияние давления впрыска на этот параметр весьма ощутимо. Вместе с тем на скорость испарения топлива сильно влияют оба указанных параметра.

4. Повышение давления впрыска значительно снижает выбросы сажи и окиси углерода, в то время как выбросы NO_x практически не снижаются. Последнее объясняется тем, что повышение давления впрыска увеличивает температуру газов в цилиндре. Значительное снижение выбросов NO_x может быть достигнуто только за счет применения EGR.

5. Применение EGR дает существенное уменьшение выбросов NO_x, но на уровень выбросов сажи почти не влияет.

6. Установлено, что наиболее эффективное снижение всех вредных выбросов достигается при следующих параметрах системы впрыска: угол конуса распыла 140°, угол начала впрыска 35° ПКВ до ВМТ, степень рециркуляции отработавших газов 20 %.

Литература

1. Lewander M., Jojansson B., Tunestal P., Keeler T., Tullis S., Milovanovic N. «Evaluation of the Operating Range of Partially Premixed Combustion in a multi Cylinder Heavy Duty Engine with Extensive EGR», SAE, 2009-01-1127.
2. Benajes J., Molina S., Novella R., Arthozoul S. «Advanced Injection Strategies to Attain Partially Premixed Combustion Process in a Heavy Duty Diesel Engine», SAE, 2008-010642.
3. Mueller C.J., G.C., Briggs T.E., Duffy K.P. «An experimental investigation of in cylinder processes under dual injection conditions in DI diesel engine», SAE, 2004-011843.

4. Kimura S., Aoki O., Kitahara Y., Aiyoshizawa E. «Ultra-Clean Combustion Technology Combining a Low-Temperature and Premixed Combustion Concept for Meeting Future Emission Standards», SAE, 2001-01-0200.

5. Okunde K., Mori K., Shiino S. «Premixed Compression Ignition (PCI) Combustion for Simultaneous Reduction of NO_x and Soot in Diesel Engine», SAE, 2004-01-1907.

6. Lechner G.A., Jacobs T.J., Chryssakis C.A., Assanis D.N., Siewert R.M. «Evaluation of a Narrow Spray Cone Angle, Advanced Injection Timing Strategy to Achieve Partially Premixed Compression Ignition Combustion in a Diesel Engine», SAE, 2005-01-0167.

7. Genzale C.L., Reitz R.D., Musculus M.P.B. «Effects of Piston Bowl Geometry on Mixture Development and Late-Injection Low-Temperature Combustion in a Heavy-Duty Diesel Engine», SAE, 2008-01-1330.

8. Abdullah N.R., Mamat R., Rounce P., Tsolakis A., Wyszynski M.L., Xu H.M. «Effect of Injection Pressure with Split Injection in a V6 Diesel Engine», SAE, 2009-24-0049.

9. Seung H.Y., June P.C., Chang S.L. «An investigation of the effects of spray angle and injection strategy on dimethyl ether(DME) combustion and exhaust emission characteristics in a common-rail», Fuel processing technology, 91, 2010 P. 1364–1372.

10. Jesus B., Santiago M., Ricardo N., Simon A. «Advanced Injection Strategies to Attain Partially Premixed Combustion Process in a Heavy Duty Diesel Engine», SAE, 2008-01064.

11. Boot M., Rijk E., Luijten C., Somers B., Albrecht B. «Spray Impingement in the Early Direct Injection Premixed Charge Compression Ignition Regime», SAE, 2010-011501.

12. Iwabunchi Y., Kawai K., Shoji T., Takeda Y. «Trial of New Concept Diesel Combustion System-Premixed Compression-Ignited Combustion», SAE, 1999-01-0185.

13. Ra Y., Reitz R.D. «The Use of Variable Geometry Sprays With Low Pressure Injection for Optimization of Diesel HC-CI Engine Combustion», SAE, 2005-01-0148.

14. Kaario O., Matteo I., Tilli A., Kalle L., Olli R., Eero A., Antti E., Teemu S., Mika N., Martti L., Tommy R., Sakari P., Jukka T., Ilari K., Harri R.T. «The Design of a New Generation Medium-Speed Research Engine», Paper 145, 26th CIMAC World Congress on Combustion Engine Technology, June 14-17, Bergen, Norway, 2010.

15. Wilcox, David C. «Turbulence Modeling for CFD», in Second edition. Anaheim: DCW Industries, 1998. 174 p.

16. Yakhot V., Orszag S.A., Thangam S., Gatski T.B. & Speziale C.G. «Development of turbulence models for shear flows by a double expansion technique», in (1992), Physics of Fluids A, Vol. 4, No. 7, P. 1510–1520.

17. Kaario O., Mika N., Kalle L., Martti L. «Real gas effects in high-pressure engine environment», Journal of Engines, SAE International, Vol. 3, 2010, P. 546–555.

18. CD-adapco, «METHODOLOGY STAR-CD VER-SION 4.16.002», 239 p.

19. Kaario O., Brink A., Wehrfritz A., and Larmi M. «Analyzing Local Combustion Environment with a Flamelet Model and Detailed Chemistry», SAE, 2012-01-0150.

20. Kaario O., Brink A., Lehto K., Keskinen K., Larmi M. «Studying Local Conditions in a Heavy-Duty Diesel Engine by Creating Phi-T Maps», SAE, 2011-01-0819.

21. Reitz R.D., and Diwakar R. «Effect of drop breakup on fuel», 1986, SAE 860469.

22. Bai C., and Gosman A.D. «Development of methodology for spray», SAE 950283, 1995.

УДК 621.43

Стратегия развития поршневого двигателестроения России на период до 2020 года (проект публикуется в сокращенной редакции) // Двигателестроение. — 2016. — № 1. — С. 3–7.

Ключевые слова: поршневые ДВС, дизели судовые, тепловозные и промышленные, импортозамещение, стратегия развития двигателестроения, специализированные производства компонентов.

На основе анализа результатов реализации подпрограммы «Создание и организация производства в РФ в 2011–2015 гг. дизельных двигателей и их компонентов нового поколения» федеральной целевой программы «Национальная технологическая база», разработана стратегия развития поршневого двигателестроения России на период до 2020 г. Показано, что сдерживающим фактором развития отрасли является отсутствие в РФ специализированных производств компонентов для двигателей нового поколения.

УДК 621.43

Чайнов Н.Д., Краснокутский А.Н., Капшук А.В. Моделирование работы резьбовых соединений при расчете сопряжений базовых деталей поршневых двигателей // Двигателестроение. — 2016. — № 1. — С. 8–10.

Ключевые слова: поршневые ДВС, корпусные детали, крышки цилиндров, резьбовые соединения, расчетные модели.

Исследованы различные возможности представления резьбовых соединений в расчетных моделях узла крышки цилиндра–втулки и корпуса поршневого двигателя. Выполнен расчет резьбового соединения корпусных деталей двигателя в осесимметричной и трехмерной постановке. Табл. 1. Ил. 8. Библ. 10.

УДК 62-383.1

Березовский А.Б., Максимов А.В., Гатауллин Н.А., Зимина Л.А., Садыков М.Ф., Гумеров И.Ф., Валеев Д.Х., Хафизов Р.Х. Экспериментальное исследование газораспределительного механизма с электрогидравлическим приводом // Двигателестроение. — 2016. — № 1. — С. 11–17.

Ключевые слова: двигатель внутреннего сгорания, фазы газораспределения, газораспределительный механизм, электрогидравлический привод, электронная система управления, электромагнитные клапаны, закон управления приводом, испытания.

Разработан электрогидравлический привод газораспределительного механизма двигателя внутреннего сгорания. Приведены сведения об электронной системе управления электромагнитными клапанами и сформирован закон управления приводом. Представлены результаты испытаний электрогидроуправляемого привода клапанов поршневого двигателя. Ил. 8. Библ. 9.

УДК 621.43

Пономарев А.С., Метелев А.А., Немчикова М.Н., Зайцев Д.А. Улучшение характеристик газоздушных каналов головки блока цилиндров дизельного двигателя Fiat 1,3 Multijet // Двигателестроение. — 2016. — № 1. — С. 18–24.

Ключевые слова: дизельный двигатель, головка блока цилиндра, продувочный стенд, газоздушные каналы, расходные характеристики, закрутка потока.

На продувочном стенде выполнены исследования характеристик газоздушных каналов и клапанной щели головки блока цилиндров малоразмерного автомобильного дизельного двигателя Fiat Multijet рабочим объемом 1,3 литра. Показана возможность улучшения расходных характеристик газоздушных каналов и увеличения закрутки потока воздуха в цилиндре за счет оптимизации профиля каналов, изменения конструкции клапанов и седел. Табл. 7. Ил. 11. Библ. 10.

УДК 621.43.052

Ципленкин Г.Е., Иовлев В.И. Уровень форсировки поршневых двигателей нового поколения // Двигателестроение. — 2016. — № 1. — С. 25–30.

Ключевые слова: дизели, газовые двигатели, среднее эффективное давление, средняя скорость поршня, управляемые топливные системы, регистровый наддув, двухступенчатые системы наддува.

Выполнен обзор и анализ развития систем поршневых ДВС и достигнутый уровень форсировки двигателей по среднему эффективному давлению и скорости поршня за последние 40 лет. Показано, что в последние годы рост среднего эффективного давления и максимального давления в цилиндре замедлился вследствие необходимости соблюдения компромисса между топливной экономичностью и требованиями по снижению выбросов NO_x. Табл. 1. Ил. 11. Библ. 24.

УДК 621.43

Сайданов В.О., Смолинский С.Н., Росляков Е.М. Модернизация дизель-генераторных установок в составе электростанций для объектов военной инфраструктуры // Двигателестроение. — 2016. — № 1. — С. 31–33.

Ключевые слова: дизель-генераторные установки, превышение назначенного ресурса, оценка технического состояния, потенциальный ущерб, критичные отказы.

Разработана методика определения браковочных показателей дизель-генераторных установок в составе источников энергоснабжения объектов военной инфраструктуры на основе интегральной оценки степени критичности их технического состояния. В качестве браковочного интегрального показателя выбран показатель потенциального ущерба, который определяется методом анализа последствий критичных отказов. Табл. 1. Библ. 5.

УДК 621.431.74

Сорокин В.А. Проблемы эксплуатации судовых дизелей с большой наработкой // Двигателестроение. — 2016. — № 1. — С. 34–39.

Ключевые слова: судовый дизель, энергетическая установка, назначенный ресурс, наработка, продление ресурса, риски отказов.

Выполнен анализ эксплуатационных показателей судовых дизелей, имеющих значительную наработку. Показано, что при определенных условиях дизели с превышением срока службы имеют резерв ресурса, позволяющий продолжить их эксплуатацию. Рассмотрены результаты эксплуатации дизелей с продленным ресурсом и риски возможных отказов. Табл. 3. Библ. 7.

УДК 621.43

Хромов В.Н. Восстановление деталей термопластическим деформированием — резерв импортозамещения запасных частей зарубежных дизелей // Двигателестроение. — 2016. — № 1. — С. 40–43.

Ключевые слова: поршневые ДВС зарубежного производства, запасные части, детали типа «полюс цилиндра», метод термопластического деформирования, восстановление размеров.

Приводится описание технологии восстановления изношенных поверхностей деталей двигателей зарубежного производства типа «полюс цилиндра» методом термопластического деформирования (ТПД). Разработана технологическая оснастка для восстановления внутренних поверхностей гильз цилиндров и наружных поверхностей поршневых пальцев. Показано, что внедрение технологии ТПД может стать резервом импортозамещения запасных частей автотракторных, судовых и тепловозных дизелей зарубежного производства. Ил. 6. Библ. 7.

УДК 621.43

Исследование горения в дизеле (материалы конгресса СИМАС 2013) // Двигателестроение. — 2016. — № 1. — С. 45–57.

Ключевые слова: горение в дизелях, рабочий процесс, пилотный впрыск топлива, уровень вредных выбросов, топливная экономичность.

Публикуются результаты исследования горения в дизелях с частичным предварительным смешением (PPC). Эта технология, позволяющая снизить уровень вредных выбросов дизеля за счет регулирования угла задержки самовоспламенения и повышения гомогенности воздушно-топливной смеси. Эксперименты проводились на опытном одноцилиндровом двигателе EVE в лаборатории ДВС университета г. Аалто (Aalto University), Финляндия. Показано влияние на рабочий процесс таких факторов PPC, как угол начала впрыска, длительность впрыска, давление впрыска и угол распыла.

Перевод докладов выполнен к.т.н. Г. Мельником. Табл. 6. Ил. 31. Библ. 22.

UDC 621.43

Road Map for the Development Reciprocating Engines in Russia up to Year 2020 (condensed draft version) // Dvigatlestroyeniye. — 2016. — № 1. — P. 3–7.

Keywords: reciprocating engines, marine, locomotive and industrial engines, autarkiation, engine building development strategy, dedicated industrial facilities for engine component production.

The draft strategy for engine building development has been prepared based on the results of Subprogram «Development and Organization of Domestic Production of New Generation Diesel Engines and Their Components in the Period of 2011–2015» (a part of Federal Program «National Production Basis»). Lack of dedicated industrial facilities for engine component production was identified as a key constraint in implementation of said Federal Program.

UDC 621.43

Chainov N.D., Krasnokutsky A.N., Kapshukov A.V. Modelling of Threaded Connections in Engine Parts Mating Analyses // Dvigatlestroyeniye. — 2016. — № 1. — P. 8–10.

Keywords: reciprocating engines, casing parts, cylinder heads, threaded connections, input model.

The authors investigated various ways of threaded connection presentation in modelling cylinder head assembly with cylinder block/liner. The task of threaded connections' simulation was solved for axisymmetric and 3D statement. 1 table, 8 ill., 10 ref.

UDC 62-383.1

Berezovsky A.B., Maximov A.V., Gataullin N.A., Zimina L.A., Sadykov M.F., Gumerov I.F., Valeev D.H., Khafizov R.H. Experimental Investigation of Electro-Hydraulic Valve Phasing Mechanism // Dvigatlestroyeniye. — 2016. — № 1. — P. 11–17.

Keywords: internal combustion engine, valve timing, valve phasing mechanism, electro-hydraulic drive, electronic control system, solenoids, control algorithm.

Newly-developed electro-hydraulic drive for engine valve phasing mechanism is described. The article describes the details of solenoid control system and control algorithm. The test result are discussed. 8 ill., 9 ref.

UDC 621.43

Ponomarev A.S., Metelev A.A., Nemchikova M.N., Zaytsev D.A. Improving the Performance of Gas Ducts in Cylinder Head of Engine Type Fiat 1,3 Multijet // Dvigatlestroyeniye. — 2016. — № 1. — P. 18–24.

Keywords: diesel engine, cylinder head, aerodynamic test stand, gas ducts, flow characteristic, flow whirling.

The aerodynamic test stand was used for characterization of gas ducts and valve/seat annular gap of Fiat engine Multijet (displacement 1.3 l). It is shown that flow characteristics of the gas ducts may be improved and flow whirling enhanced through optimizing duct profiles and valve/seat geometry respectively. 7 tables, 11 ill., 10 ref.

UDC 621.43.052

Tsyplenkin G.E. and Iovlev V.I. New Generation Reciprocating Engines: Boost Level // Dvigatlestroyeniye. — 2016. — № 1. — P. 25–30.

Keywords: diesel engines, gas engines, mean effective pressure.

Review and analysis of reciprocating engine development for 40-year period, with a focus on progress in mean effective pressure and piston speed. The increase rate of the above parameters is shown to decelerate lately, since reaching trade-off between engine fuel efficiency and environmental per-

formance becomes growingly problematic.

1 table, 11 ill., 24 ref.

UDC 621.43

Saidanov V.O., Smolinsky S.N., Roslyakov E.M. Modernization of Diesel-Generator Sets Powering Military Facilities // Dvigatlestroyeniye. — 2016. — № 1. — P. 31–33.

Keywords: diesel-generator sets, provide beyond assigned resource, deterioration assessment, potential damage, critical failures.

A method is offered to identify non-conformity criteria for diesel-generator sets powering military facilities, based on integral evaluation of their deterioration criticality. It is probable that damage that seems to be the best candidate for such an integral criterion. It may be evaluated through analysis of critical failure consequences. 1 table, 5 ref.

UDC 621.431.74

Sorokin V.A. Operating Marine Diesel Engines with Small Residual Life // Dvigatlestroyeniye. — 2016. — № 1. — P. 34–39.

Keywords: marine diesel engine, power plant, assigned resource, run hours, assigned resource, operation beyond original design life, failure risks.

A number of marine diesel engines with design life close to expiration were analysed for performance. Engines are shown to be able to remain in operation beyond their original design lives under certain conditions. Cases of running engines beyond their design life are considered, and risks of probable failures are appreciated. 3 tables, 7 ref.

UDC 621.43

Khromov V.N. Rebuilding of Parts with Thermo-Softening Deformation as an Alternative to Procurement of Spare Parts for Imported Diesel Engines // Dvigatlestroyeniye. — 2016. — № 1. — P. 40–43.

Keywords: imported diesel engines, spare parts, thermo-softening deformation, «hollow cylinder» type parts, reworking to original dimensions.

The technology is described that enables rebuilding of «hollow cylinder» type spare parts of imported engines with thermo-softening deformation (TSD). A set of tools is developed for rebuilding surfaces of cylinder liners (inner) and piston pins (outer). TSD may be considered as an alternative to procurement of spare parts for imported diesel engines (on-road, marine and locomotive). 6 ill., 7 ref.

UDC 621.43

Investigation into Partially-Premixed Combustion (based on CIMAC 2013 papers) // Dvigatlestroyeniye. — 2016. — № 1. — P. 45–57.

Keywords: combustion process, pilot fuel injection, noxious emission level, fuel efficiency.

The work in question deals with partially premixed combustion (PPC) for low load conditions in a marine engine using computational and experimental technique. Said technology allows to reduce engine noxious emission level through controllable ignition delay and better air-fuel mixing. The experiments have been carried out on a single-cylinder engine EVE installed in at Aalto University, Internal Combustion Engine Laboratory. Such parameters as injection timing, injection period, injection pressure, inclusion angle of the spray have been investigated as key factors that influence the combustion process in PPC mode.

The CIMAC paper is translated into Russian by G.Melnik, PhD. 6 tables, 31 ill., 22 ref.

Вниманию авторов

Редакция обращает внимание авторов на тематическую направленность принимаемых к рассмотрению рукописей и необходимость выполнения требований по их оформлению.

Журнал «Двигателестроение» является ежеквартальным научно-техническим изданием, посвященным проблемам развития, проектирования, изготовления и эксплуатации поршневых двигателей.

Тематика публикаций определила следующие основные рубрики журнала:

- расчеты, конструирование, исследования двигателей;
- системы и агрегаты двигателей;
- конструкционные материалы;
- топливо и смазочные материалы, присадки;
- ресурсосбережение;
- эксплуатация и ремонт двигателей;
- автоматизация и диагностирование;
- проблемы экологии;
- гипотезы и дискуссии;
- история развития конструкций (проектов), предприятий и науки о двигателях;
- обзорная и справочная информация.

Текст рукописи должен быть представлен в двух экземплярах на бумаге формата А4, гарнитура Times New Roman 12, через полтора интервала, с обязательным приложением электронной версии на CD (в формате Microsoft Word 2000/2003), полностью соответствующей оригиналу на бумаге. Формулы в электронной версии должны быть набраны с использованием редактора формул Microsoft Equation 3.0. За достоверность набора формул несет ответственность автор. При использовании в наборе специальных шрифтов последние прилагаются в электронном виде. Электронные копии иллюстраций представляются отдельными файлами в форматах: TIF, JPG (не менее 300 dpi, черно-белые полутоновые изображения).

Представляя рукопись статьи в редакцию, автор должен сообщить о ее предыдущих публикациях.

Рукопись статьи должна иметь рекомендацию к публикации в журнале (направление) от организации, где выполнялась работа, а также акт экспертной комиссии с указанием того, что рукопись не содержит сведений, запрещенных к публикации в открытой печати.

Заглавие статьи должно быть кратким (не более 120 знаков), точно отражающим ее содержание.

Для оперативного решения вопросов, связанных с подготовкой рукописи к публикации, а также для размещения электронной версии журнала в НЭБ должны быть представлены сведения об авторах:

- фамилия, имя, отчество (полностью);
- ученая степень и звание;
- полное наименование места работы;
- полный почтовый адрес;
- действующие контактные телефоны, e-mail).

Для представления авторов читателям желательно присылать цветные или черно-белые фотографии авторов размером не менее чем 3×4 см. Допускаются электронные копии в форматах TIF или JPG.

Обязательными приложениями к рукописи являются: реферат, в котором четко и сжато изложены основные цели и результаты работы объемом от 700 до 1200 знаков; код УДК; ключевые слова.

Заглавие статьи, название организаций, ФИО авторов, ключевые слова и реферат необходимо присылать на русском и английском языках.

Объем статьи не должен превышать 25 тыс. знаков, включая таблицы и список литературы. Иллюстрации в виде графиков, диаграмм, схем и фотографий оформляются в виде приложений к тексту рукописи. Все приложения к тексту рукописи представляются на отдельных листах, а в электронной копии — в виде отдельных файлов. Формулы, иллюстрации и таблицы должны быть пронумерованы в порядке упоминания и снабжены поясняющими (подрисовочными) подписями. Все обозначения на иллюстрациях должны быть объяснены (расшифрованы) в тексте или в подрисовочных подписях и соответствовать обозначениям в тексте.

Даже если все иллюстрации заверстаны автором в текст электронной копии рукописи, то их представление в виде отдельных файлов и распечаток на отдельном листе обязательно.

В статьях желательно приводить только те математические формулы, которые необходимы для понимания существа вопроса, исключая их подробные выводы.

Все обозначения, встречающиеся в формулах, должны быть объяснены.

При написании формул необходимо использовать общепринятые обозначения физических величин по Международной системе единиц (ГОСТ 8.417–2002. Государственная система обеспечения единства измерений. Единицы величин). Ссылки на цитируемые источники необходимо оформлять в соответствии с ГОСТ Р 7.0.5 05–2008.

Если представленные в редакцию рукописи не удовлетворяют перечисленным требованиям, то они могут быть доработаны по согласованию с автором сотрудниками редакции. Услуги редакции по доработке рукописей статей платные.

Рукописи статей, поступившие в редакцию, рецензируются специалистами. Если у рецензента имеются обоснованные критические замечания, статья возвращается автору на доработку.

Редакция оставляет за собой право внесения в текст редакторских изменений, не искажающих смысла авторского текста. При поступлении в редакцию обоснованных критических замечаний, касающихся размещенного в журнале материала, редакция оставляет за собой право на их публикацию в порядке дискуссии.

Авторское право на конкретную статью принадлежит авторам. Ответственность за содержание статьи несет также автор. При перепечатке статьи или ее части ссылка на журнал обязательна.

Публикация в журнале учитывается ВАК в качестве печатного научного труда.

Рукописи, направленные в редакцию, авторам не возвращаются.

Редакция журнала