

УДК 621.43.016

ЧИСЛЕННОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ РАБОЧЕГО ЦИКЛА И ОЦЕНКА ТЕПЛОНАПРЯЖЕННОГО СОСТОЯНИЯ ПОРШНЯ АВТОТРАКТОРНОГО ДИЗЕЛЯ

А.Н. Авраменко, к.т.н., ИПМаш им. А.Н. Подгорного НАН Украины

Аннотация. Приведен расчетный анализ параметров рабочего цикла быстроходного дизеля и оценка выбросов вредных веществ с отработавшими газами. Продукты сгорания оцениваются по таким компонентам, как CO_2 , NO и твердые частицы. В дальнейшем расчетные значения параметров рабочего цикла используются для расчета теплонапряженного состояния поршня автотракторного дизеля.

Ключевые слова: рабочий цикл, автотракторный дизель, теплонапряженное состояние, поршень.

ЧИСЕЛЬНЕ МОДЕЛЮВАННЯ РОБОЧОГО ЦИКЛУ ТА ОЦІНКА ТЕПЛОНАПРУЖЕНОГО СТАНУ ПОРШНЯ АВТОТРАКТОРНОГО ДИЗЕЛЯ

А.М. Авраменко, к.т.н., ИПМаш ім. А.М. Підгорного НАН України

Анотація. Наведено розрахунковий аналіз параметрів робочого циклу швидкохідного дизеля та оцінка викидів шкідливих речовин з відпрацьованими газами. Продукти згоряння оцінюються по таких компонентах, як CO_2 , NO та тверді частки. Далі розрахункові значення параметрів робочого циклу використовуються для розрахунку теплонапруженого стану поршня автотракторного дизеля.

Ключові слова: робочий цикл, автотракторний дизель, теплонапружений стан, поршень.

NUMERICAL MODELLING OF A WORKING CYCLE AND AN ESTIMATION OF A HEAT-STRESSED CONDITION OF PISTON AUTOTRACTOR DIESEL ENGINE

A.N. Avramenko, Candidate of Technical Sciences, IPMach it A.N. Podgornogo NAS of Ukraine

Abstract. In the work a calculation analysis of parameters of a working cycle of a high-speed diesel engine and an estimation of emissions of harmful substances with the exhaust gases is resulted. Products of combustion are estimated on such components as CO_2 , NO and soot particles. Further calculation values of parameters of a working cycle are used for calculation of heat-stressed conditions of an autotractor diesel engine piston.

Key words: working cycle, autotractor diesel engine, heat-stressed condition, piston.

Введение

Рабочий процесс и теплонапряженность деталей камеры сгорания (КС) ДВС, как известно, связаны между собой. Изменение конструктивных, режимных и регулировочных параметров систем и конструктивных

элементов ДВС, обеспечивающих процессы смесеобразования и сгорания, оказывают неизбежное влияние на теплонапряженное состояние (ТНС) деталей КС.

При проведении расчетных исследований ТНС деталей КС исследователи всегда стал-

квиваются с такими сложностями, как выбор схемы задания граничных условий (ГУ) теплообмена на теплообменной поверхности исследуемых деталей, выбор закона изменения ГУ при исследовании нестационарных режимов, а также с выбором самих значений ГУ теплообмена [1, 2].

Как правило, при моделировании ТНС деталей КС исследователи пользуются не полными экспериментальными данными о тепловом и деформированном состоянии деталей КС, что обусловлено ограниченными возможностями, связанными с особенностями конструкции ДВС и несовершенством измерительной аппаратуры.

Эти особенности неизбежно сказываются на точности разрабатываемых математических моделей и вынуждают исследователей субъективно выбирать схему задания ГУ, закон их изменения и значения самих ГУ теплообмена.

Таким образом, разрабатываемые математические модели ТНС деталей ДВС, отличаются значительной степенью субъективности.

Анализ публикаций

Развитие современных программных комплексов, основанных на методе конечных объемов, позволило с достаточной степенью достоверности описывать внутрицилиндровые процессы двигателей различных типов [3].

Ведущие мировые компании, занимающие лидирующие позиции в области доводки поршневых ДВС, например такие как AVL и Ricardo [3, 4], используют технологии численного моделирования для расчета параметров рабочего цикла поршневого ДВС.

По результатам расчетного анализа проводится оптимизация параметров рабочего цикла и оцениваются пути улучшения технико-экономических и экологических показателей ДВС [3–6].

Проблемными остаются вопросы, связанные с моделированием процессов горения жидких и газообразных топлив и оценкой токсичности продуктов сгорания в условиях камеры сгорания поршневого ДВС.

В работе предложен подход, в соответствии с которым решается связанная задача: расчет рабочего цикла ДВС с последующим получением распределения ГУ теплообмена по теплообменной поверхности деталей КС, характером их изменения и значениями ГУ. Далее эти данные используются для расчета стационарных и нестационарных температур, напряжений и деформаций деталей КС на исследуемом эксплуатационном режиме.

Такой подход позволяет свести к минимуму субъективный вклад в разработку моделей ТНС деталей КС и повысить тем самым точность и достоверность результатов расчетного моделирования.

Цель и постановка задачи

Цель – расчетная оценка параметров рабочего цикла с последующим расчетом теплонапряженного состояния поршня быстроходного дизеля.

В проведенном исследовании ставились такие задачи:

- разработать геометрическую модель КС дизеля 2 Ч 10,5/12 и выполнить дискретизацию расчетной области;
- разработать схему задания начальных и граничных условий для расчета процессов смесеобразования и сгорания с использованием существующих экспериментальных данных;
- выполнить расчетный анализ параметров рабочего цикла быстроходного дизеля;
- оценить состав продуктов сгорания;
- разработать конечноэлементную модель поршня;
- используя в качестве ГУ данные расчета рабочего цикла, выполнить расчет ТНС поршня на исследуемом режиме;
- сделать выводы и рекомендации.

Основные этапы и результаты исследования

Базовый двигатель – четырехтактный, двухцилиндровый с воздушным охлаждением автотракторный дизель семейства D21 (2 Ч 10,5/12). Двигатель имеет полусферическую камеру сгорания в поршне, смещенную относительно оси цилиндра. Топливная форсунка расположена под углом к оси цилиндра.

Для проведения расчетного исследования были созданы геометрические модели камеры сгорания дизеля, которые в дальнейшем использовались для дискретизации. Расчетная модель камеры сгорания представлена на рис. 1. Для уменьшения размерности решаемой задачи расчетная область на участках сжатия – расширения не имеет впускного и выпускного каналов, а также, соответственно, впускного и выпускного клапанов.



Рис. 1. Расчетные модели КС

На участках резкого изменения геометрических условий и параметров потока сетка имеет локальные сгущения. Такой уровень дискретизации был выбран в соответствии с возможностями вычислительной техники и временем решения задачи.

В работе проведен расчет сжимаемого турбулентного течения топливовоздушной смеси в цилиндре дизеля в нестационарной постановке. С учетом рекомендаций компаний AVL и Ricardo для описания турбулентных течений в цилиндре ДВС выбрана $k-\epsilon$ модель.

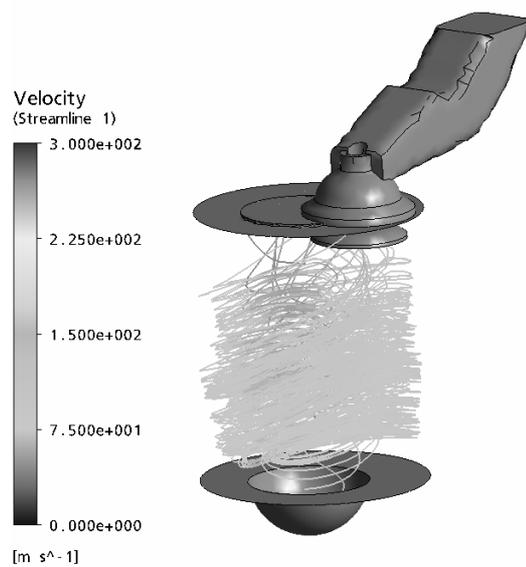
В расчете процесса наполнения учитывалось наличие остаточных газов в цилиндре и впускном канале.

В качестве начальных условий задавались: давление, температура, массовая фракция остаточных газов в камере сгорания, а также скорости потока.

В качестве ГУ задавались давление и температура воздуха на впуске, параметры топливоподачи, перемещение поршня и впускного и выпускного клапанов.

В расчете учитывался теплообмен рабочего тела со стенками камеры сгорания.

Поле скоростей свежего заряда на такте наполнения представлено на рис. 2.



режим с $N_e = 18,4$ кВт, $n = 1800$ мин⁻¹

Рис. 2. Распределение скорости свежего заряда (м/с) в процессе наполнения цилиндра

Расчетные значения скоростей и траекторий движения свежего заряда сравнивались с существующими экспериментальными данными, полученными методом электротермоанемометрирования на идентичном режиме работы дизеля [7].

Максимальные расчетные значения скорости зарегистрированы в области клапанной щели и достигают 300 м/с (рис. 2).

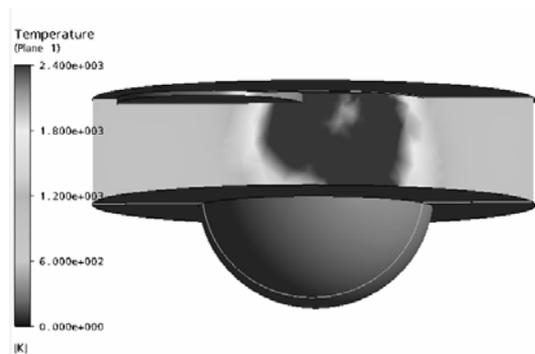
В процессе наполнения цилиндра свежий заряд нагревается неравномерно. Максимальные значения температуры зарегистрированы в области тарелки впускного клапана, которые достигают в пристеночном слое 400 К.

По результатам расчета оценено вихревое отношение, которое на исследуемом режиме составляет 6.

Максимальная скорость движения заряда при движении поршня к ВМТ зарегистрирована в пристеночном слое вблизи поверхности поршня и достигает 40 м/с.

В дальнейшем был выполнен расчет впрыска топлива. Угол опережения впрыска топлива был принят равным 20 град. п.к.в. до ВМТ. Распылитель топливной форсунки имеет 3 сопловых отверстия диаметром 0,3 мм, равномерно расположенных в плане.

В дальнейшем был выполнен расчет процесса горения топливовоздушной смеси. Результаты расчета представлены на рис 3.



режим с $N_e = 18,4$ кВт, $n = 1800$ мин⁻¹

Рис. 3. Распределение температуры (К) в цилиндре в процессе горения топливовоздушной смеси

Максимальная расчетная температура в камере сгорания достигает 2400 К, а максимальное давление сгорания 8 МПа.

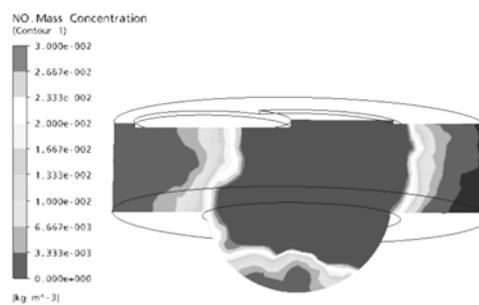
Расчетная оценка продуктов сгорания проведена для таких компонентов, как NO, CO₂ и твердые частицы. Для расчета образования оксидов азота в программном комплексе использована модель Зельдовича.

Распределение массовой концентрации оксида азота на исследуемом эксплуатационном режиме представлено на рис 4, а.

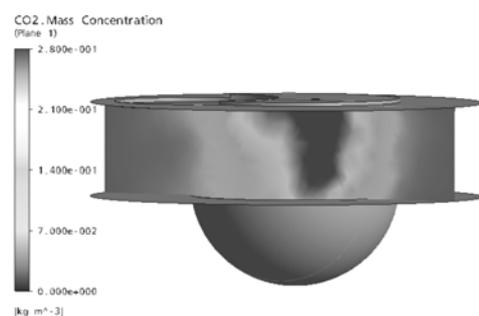
В пересчете на единицы измерения, в соответствии с которыми проводится нормирование выбросов, полученные расчетные значения не превышают 2000 ppm, что близко к данным эксперимента, полученным на идентичном режиме нагрузки [8].

Распределение массовой концентрации диоксида углерода в выбранном сечении камеры сгорания представлено на рис. 4, б.

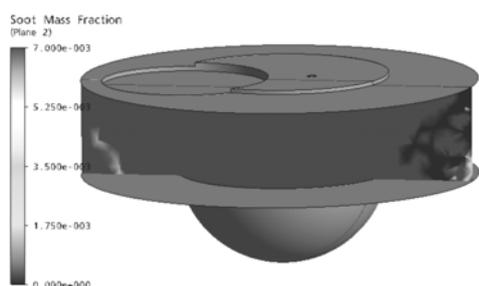
Объемное процентное содержание CO₂ в продуктах сгорания не превышает 16 %.



а)



б)



в)

режим с $N_e = 18,4$ кВт, $n = 1800$ мин⁻¹

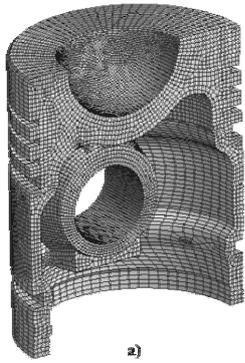
Рис. 4. Распределение массовой концентрации NO (а), CO₂ (б), (кг/м³) и массовой фракции ТЧ (в) в выбранном сечении КС

Расчетное значение массовой фракции твердых частиц (ТЧ) в выбранном сечении камеры сгорания представлено на рис. 4, в.

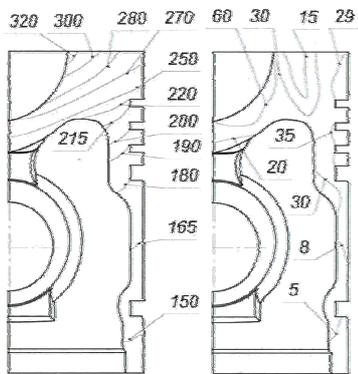
В дальнейшем был выполнен расчет стационарного ТНС поршня автотракторного дизеля.

Конечноэлементная модель поршня представлена на рис. 5, а модель насчитывает 63398 КЭ и 219041 узловых точек.

В качестве ГУ задавались температуры и коэффициенты теплоотдачи, а также давление в цилиндре. Полученные в результате расчета



a)



b)

c)