электронный журнал
МОЛОДЕЖНЫЙ НАУЧНО-ТЕХНИЧЕСКИЙ ВЕСТНИК
Издатель ФГБОУ ВПО "МГТУ им. Н.Э. Баумана". Эл No. ФС77-51038.

УДК 421.436

Влияние закона впрыскивания топлива на рабочий процесс с частично-гомогенным сгоранием в цилиндре дизеля

***Зиновьев И.А.**, студент*
Россия, 105005, г. Москва, МГТУ им. Н.Э. Баумана,
кафедра «Поршневые двигатели»

Научный руководитель: Кавтарадзе Р.З., д.т.н, профессор
Россия, 105005, г. Москва, МГТУ им. Н.Э. Баумана
zinovievilia@gmail.com

1. Способы реализации частично-гомогенного сгорания.

Для того, чтобы достичь уменьшения концентрации вредных оксидов азота в выбросах дизельного двигателя возможно использование многих мер при оптимизации рабочего процесса двигателя. Одной из таких мер является организация так называемого частично-гомогенного процесса сгорания в цилиндре дизеля, подобный реализованному в [3].

Такой процесс не требует существенного изменения конструкции ДВС. При его организации происходит многократное впрыскивание топлива, начинающееся с ряда порций во время такта сжатия, которые и приводят к частичной гомогенизации ТВС. Эмиссия вредных веществ снижается по сравнению с обычным процессом сгорания, также возможно сохранение уровня эффективности и, как следствие, расхода топлива.

В зависимости от стратегии впрыскивания классифицируют следующие виды частично-гомогенных процессов сгорания [1, 9]:

– при УОВТ = 80°ПКВ..20°ПКВ до ВМТ реализуется HCLI-процесс (Homogeneous Charge Late Injection) [6];

– при УОВТ < 20°ПКВ до ВМТ осуществляется процесс HPLI (Highly Premixed Late Injection) [8].

Уменьшающаяся с ростом нагрузки задержка воспламенения делает возможным организацию частично-гомогенных процессов только в определенном диапазоне режимов работы дизеля. Рекомендуется следующая последовательность типов процесса сгорания при увеличении среднего эффективного давления [4]:

– при p_e< 4 бар – HCLI-процесс;

– при p_e =4..6 бар – HPLI-процесс;

– при p_e > 6 бар – традиционный дизельный процесс.

Для высокой точности результатов в данной работе проведено исследование рабочего процесса дизельного двигателя с помощью программного комплекса компании AVL List GmbH «Fire». Он позволяет совершить трехмерное многозонное моделирование процессов сжатия, воспламенения и сгорания, содержит в себе модели различных механизмов образования вредных веществ. Такой набор моделей в совокупности с достаточно мелкими шагами по сетке и времени позволяет достичь неплохую сходимость с экспериментом, за что такое моделирование зачастую называют «численным экспериментом».

2. Расчет эффективных показателей рабочего процесса.

За исследуемый двигатель была взята одноцилиндровая экспериментальная установка 1ЧН 13/15 на базе двигателя Daimler-Benz OM-500. Ее характеристики представлены в таблице 1.

Таблица 1

Характеристики установки Daimler-Benz OM-500.

Диаметр цилиндра, мм	130
Ход поршня, мм	150
Рабочий объем цилиндра, $см^3$	1991
Длина шатуна, мм	273
Степень сжатия	14.7
Число клапанов	4
Система топливоподачи	Common Rail
Максимальное давление впрыска, бар	1003.2
Давление наддува, бар	0.462
Число отверстий форсунки	8
Диаметр отверстий форсунки, мм	0.23

За режим работы двигателя взят режим частичной нагрузки. Его параметры приведены в табл. 2

Таблица 2

Параметры режима работы двигателя.

Частота вращения КВ, об/мин	1100
Коэффициент избытка воздуха	3.17
Давление воздуха, бар	1.01
Температура воздуха, ° С	42
Индикаторное давление, бар	6
Цикловая подача, г/цикл	0.05867

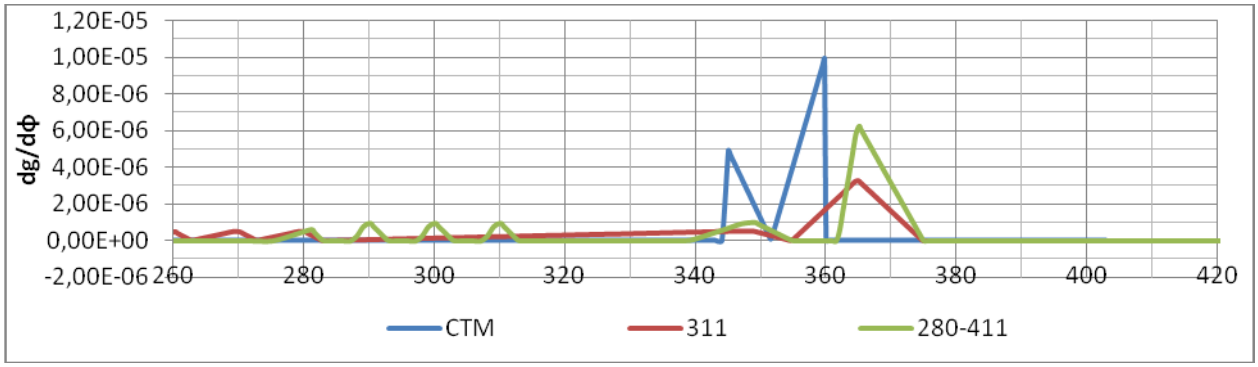

Рис. 1. Законы впрыскивания исследуемых рабочих процессов.

Программный комплекс AVL Fire предоставляет возможность широко варьировать многие параметры рабочего процесса. В данном исследовании рассмотрены различные характеристики впрыскивания топлива (рис. 1). При этом было сохранено значение цикловой подачи топлива, чтобы иметь возможность определить, какой из процессов эффективнее и экологичнее. Для удобства были введены условные названия рассмотренных процессов.

– «CTM» – рабочий процесс с основным впрыскиванием в 2 этапа, построен на базе использованного в вышеуказанной работе (назван по использованной модели сгорания);

– «311» – рабочий процесс со впрыскиванием 3 порций топлива на такте сжатия (начиная с 260˚, по 5 % от основной по массе), расширенной «пилотной» (здесь и далее 10 % от основной по массе) и основной порции;

– «280-411» – рабочий процесс со впрыскиванием 4 порций топлива на такте сжатия (начиная с 280˚, по 5 % от основной), «пилотной» и основной порции.

Все описанные процессы, кроме СТМ, реализуют частично-гомогенное сгорание.

На рис. 2, 3 показано сравнение индикаторных диаграмм по давлению и температуре исследуемых рабочих процессов.

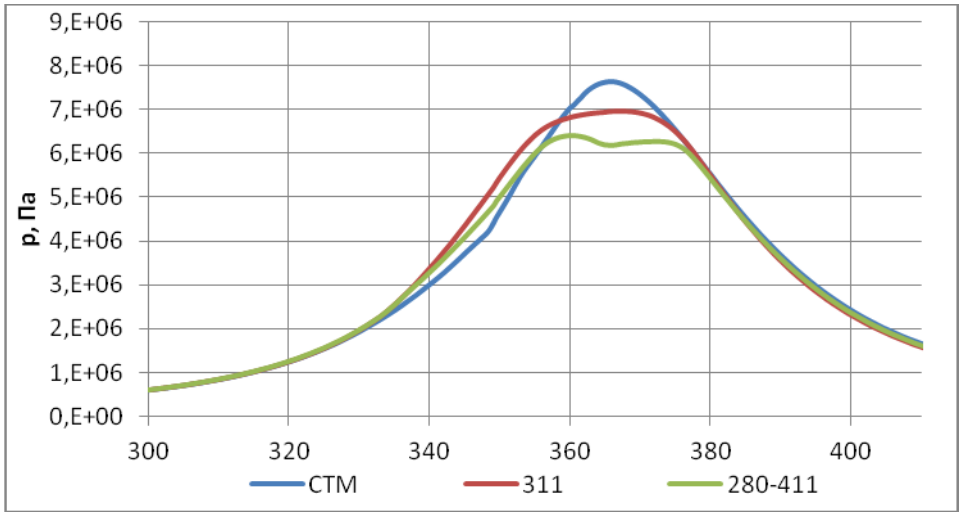

Рис. 2. Индикаторные диаграммы давления

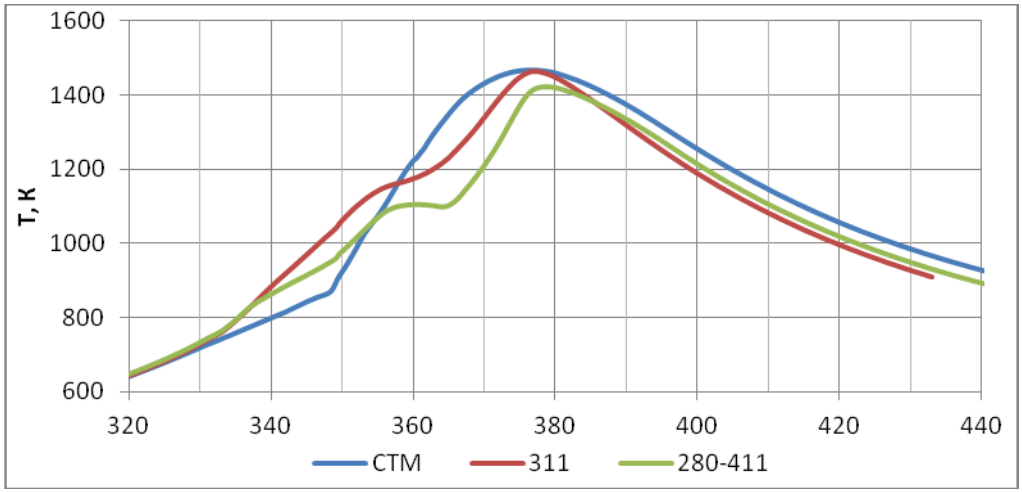

Рис. 3. Индикаторные диаграммы температуры

В целом индикаторные диаграммы соответствуют законам впрыскивания. В случае с традиционным законом, характеристика имеет один ярко выраженный максимум через

несколько градусов после ВМТ. При реализации частично-гомогенных процессов таких максимума два. Причем, один из них соответствует сгоранию предварительных порций топлива, а второй – основной порции. Сами значения максимумов в этом случае ниже, чем в традиционном процессе. Также ниже оказывается такой параметр, как скорость нарастания давления, который характеризует степень нагрузки деталей КС. Это объясняется как раз более плавным, близким к гомогенному, сгоранием.

3. Расчет экологических параметров рабочего процесса.

Программный комплекс AVL Fire позволяет произвести моделирование образования вредных веществ в КС дизеля. В данной работе наибольший интерес будет представлять определение концентраций оксидов азота и твердых частиц (ТЧ) сажи. При этом возможно использование многих известных механизмов образования. Например, для расчета образования оксидов азота (NOx) могут быть использованы:

– расширенный механизм Я. Б. Зельдовича [5];

– частично-равновесный расширенный механизм Зельдовича;

– расширенный механизм Зельдовича, учитывающий образование быстрых и топливных оксидов азота [7];

– стандартный механизм Хейвуда;

– механизм Хейвуда с поправкой на теплообмен излучением;

– механизм Хейвуда, учитывающий колебания температур;

– пользовательский механизм.

Результаты моделирования (рис. 4) показывают, что реализация частично-гомогенного сгорания позволяет существенно снизить концентрацию вредных оксидов азота (в 1,8 раза). Процесс с четырьмя предварительными порциями топлива с точки зрения экологии оказался лучше процесса с тремя порциями, следовательно, степень гомогенизации улучшает экологические показатели рабочего процесса.

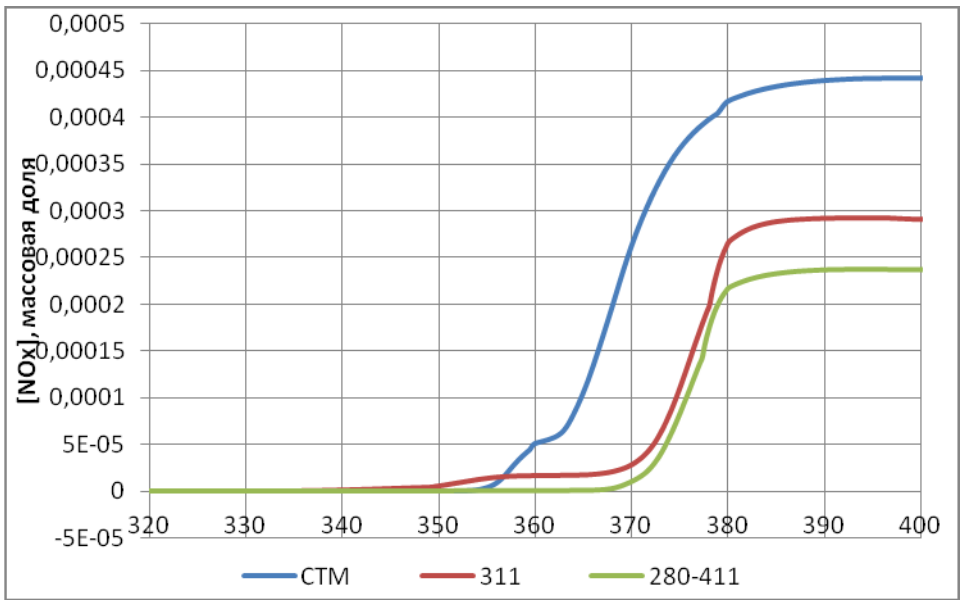

Рис. 4. Концентрация оксидов азота в камере сгорания

Как известно, оксиды азота образуются путем химических реакций с довольно высокой энергией активации. Поэтому их образование происходит при температурах $T > 1800\ K$ [2]. Таким образом, концентрация оксидов азота в КС всегда соответствует локальным температурам. Наиболее высокие температуры достигаются на фронте пламени.

Большая степень гомогенизации ведет к более равномерному по КС сгоранию, поэтому величины локальных температур (при сохранении уровня средних по КС температур) в этом случае ниже. Также ниже оказываются концентрации оксидов азота в «280-411», нежели «311».

Таким образом, доказана целесообразность организации частично-гомогенного сгорания в цилиндре дизеля на режимах неполной нагрузки для уменьшения концентрации оксидов азота. При этом не требуется конструктивных изменений основных деталей цилиндро-поршневой группы.

Список литературы

1. Зельдович Я.Б., Садовников П.Я., Франк-Каменецкий Д.А. Окисление азота при горении. М.: Изд-во Академии наук СССР, 1947. 147 с.
2. Кавтарадзе, Р. З. Теория поршневых двигателей. Специальные главы. М.: Изд-во МГТУ им. Н.Э. Баумана, 2008. 720 с.
3. Hanho Yun, Nicole Wermuth, Barry L. Brown, Jun-Mo Kang, Paul M. Najt. Light load and idle hcci combustion control by fuel pressure modification: pat. 20090272362 USA. MPK-2014.01 F 02 B 17/00, F 02 M 7/00.
4. Basshuesen R., Schäfer F. Handbuch. Verbrennungsmotor. 4. Aufgabe. Wiesbaden: Vieweg & Sohn Verlag, 2007.1032 p.
5. Baulch D.L., Cobos C.I., Cox A.M. Compilation of rate data for combustion modeling. Supplement I // J. Phys. Chem. 1994, vol.23, 847 p.
6. Diwakar, R., Singh, S. NOx and soot reduction in diesel engine premixed charge compression ignition combustion: a computational investigation // Int. J. Engine Res. 2008, vol. 9, pp. 195-214.
7. Fenimore C.P. Formation of Nitric Oxide in Premixed Hydrocarbon Flames // 13th Symposium (International) on Combustion. Pittsburgh, 1970, pp. 373-380.
8. Gatellier B., Gessier B., Genoist J. Neue Technologien zur Erfüllung der Abgasnorm Euro 5 // MTZ. 2005, № 6, pp. 434-442.
9. Henle A. Entkopplung von Gemischbildung und Verbrennung bei einem Dieselmotor: Dissertation. München, 2006, 193 p.