

УДК 621.431:621.436.068

И.В. Парсаданов, д-р техн. наук, С.И. Третьяков, асп.

ОЦЕНКА ВЛИЯНИЯ УГЛА НАЧАЛА ПОДАЧИ ТОПЛИВА НА ПОКАЗАТЕЛИ ТОКСИЧНОСТИ ОТРАБОТАВШИХ ГАЗОВ БЫСТРОХОДНОГО ДИЗЕЛЯ

В работе [1] показано, что угол начала подачи топлива позволяет существенно влиять на динамическую напряженность и топливную экономичность дизеля. Причем, для анализа сгорания, обобщения и выбора условий оптимального регулирования быстроходных дизелей необходимы сведения о действительном угле опережения впрыскивания топлива (УНПТ).

С этой целью на основании экспериментальных данных, полученных при исследовании дизеля 6ЧН 12/14 (СМД-31), установлена взаимосвязь между УНПТ и геометрическим (установочным) углом опережения подачи топлива (УОПТ), показано влияние УНПТ на максимальное давление сгорания, степень повышения и скорость нарастания давления, удельный эффективный расход топлива, а также с учетом принятых ограничений на динамическую напряженность и обеспечения минимального расхода топлива предложен закон управления углом начала подачи топлива.

В настоящей работе приведены результаты экспериментальных исследований дизеля 6ЧН12/14 для установления зависимостей показателей токсичности и дымности отработавших газов (ОГ) от УНПТ. Номинальная мощность дизеля, максимальный крутящий момент на частичных скоростных режимах, топливная аппаратура и ее регулировочные параметры такие же, как и в работе [1].

Результаты исследования дизеля на максимальных нагрузках при различных частотах вращения коленчатого вала приведены на рис.1. Рассмотрим в первую очередь показатели токсичности ОГ, связанные с неполным сгоранием топлива. К таким показателям следует отнести концентрации в ОГ оксида углерода и газообразных суммарных углеводородов (W_{CO} , W_{CnHm}), массовый выброс твердых частиц ($G_{TЧ}$).

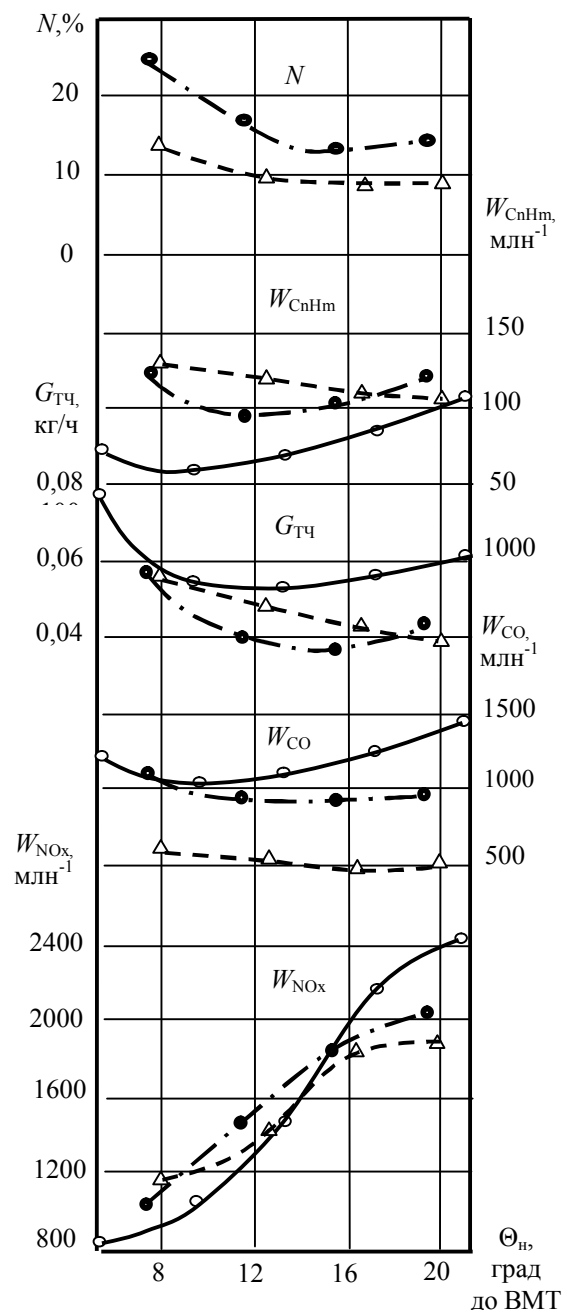


Рис.1. Зависимости показателей токсичности и дымности ОГ от угла начала подачи топлива, $N_e=100\%$:

- — при $n=1200 \text{ мин}^{-1}$
- — при $n=1600 \text{ мин}^{-1}$
- △ — при $n=2000 \text{ мин}^{-1}$

Эти показатели, как и оптическая непрозрачность ОГ (N), которая определяется наличием в ОГ частиц сажи, относящихся к продуктам неполного сгорания топлива, имеют в разной степени выраженные оптимальные значения УНПТ.

Концентрация в отработавших газах дизеля оксида углерода зависит от частоты вращения коленчатого вала, особенно заметно при $Q_n > 14$ градусов до ВМТ. Оптимальные УНПТ, обеспечивающие минимальные значения W_{CO} при $n = 2000 \text{ мин}^{-1}$, находятся в пределах 16...20 градусов до ВМТ. При $n = 1600 \text{ мин}^{-1}$ и $n = 1200 \text{ мин}^{-1}$ оптимальные УНПТ находятся в пределах 12...14 и 9...11 градусов до ВМТ, соответственно.

Влияние частоты вращения коленчатого вала на **концентрацию в отработавших газах газообразных суммарных углеводородов** менее заметно, чем на W_{CO} , но оптимальные УНПТ, обеспечивающие минимальные значения W_{CnHm} практически те же самые, что и для W_{CO} . Так, при $n = 1600 \text{ мин}^{-1}$ оптимальные УНПТ находятся в пределах 11...13 градусов до ВМТ, а при $n = 1200 \text{ мин}^{-1}$ – 8...10 градусов до ВМТ. И лишь при $n = 2000 \text{ мин}^{-1}$ оптимальные УНПТ, обеспечивающие минимальные значения W_{CnHm} находятся выше значений 20 градусов до ВМТ, т.е. выше значений, исследованных в настоящей работе.

Оптическая непрозрачность отработавших газов незначительно зависит от частоты вращения коленчатого вала. Если при $n = 2000 \text{ мин}^{-1}$ оптимальные УНПТ, обеспечивающие минимальные значения оптической непрозрачности ОГ составляют 16...18 градусов до ВМТ, то для $n = 1600 \text{ мин}^{-1}$ – 15...17 градусов.

Массовый выброс с отработавшими газами твердых частиц определяется, главным образом, наличием в ОГ частиц сажи и конденсированных углеводородов [2]. Оптимальные значения УНПТ, обеспечивающие минимальные значения выброса

твердых частиц при $n = 2000 \text{ мин}^{-1}$ находятся выше 20 градусов до ВМТ. При $n = 1600 \text{ мин}^{-1}$ оптимальные углы находятся в пределах 12...14 градусов до ВМТ, при $n = 1200 \text{ мин}^{-1}$ – 10...13 градусов.

Концентрация в отработавших газах оксидов азота. Оксиды азота, в основном, являются продуктом окисления азота, поступающего в цилиндр дизеля с воздухом [3] и концентрация их в ОГ зависит от условий сгорания в 1 и 2 фазах [4]. Анализ зависимостей концентрации в ОГ оксидов азота (W_{NOx}) от частоты вращения коленчатого вала при максимальных нагрузках показывает, что значения W_{NOx} возрастают при снижении n . Минимальные значения W_{NOx} можно достичь при УНПТ менее 6 градусов до ВМТ.

Таким образом, для продуктов неполного сгорания топлива (оксида углерода, газообразных суммарных углеводородов, твердых частиц) при каждой из частот вращения коленчатого вала можно найти оптимальный УНПТ, обеспечивающий минимальный выброс вредного вещества или найти компромиссное решение при выборе УНПТ, обеспечивающее минимальные значения выбросов продуктов неполного сгорания топлива. Например, по результатам исследований для частоты вращения коленчатого вала $n = 1200 \text{ мин}^{-1}$ может быть рекомендован УНПТ 10 градусов до ВМТ, для $n = 1600 \text{ мин}^{-1}$ – 13 градусов до ВМТ, а для $n = 2000 \text{ мин}^{-1}$ – 20 градусов до ВМТ. В то же время для обеспечения минимальной концентрации в ОГ оксидов азота необходимо УНПТ устанавливать менее 6 градусов до ВМТ.

Выбор закона управления УНПТ необходимо проводить с учетом назначения двигателя и данных об условиях его эксплуатации по комплексному критерию топливной экономичности и токсичности ОГ или суммарным затратам на топливо и возмещение ущерба от вредного воздействия ОГ на окружающую среду [2].

На рис. 2 показаны три возможных закона управления УНПТ по внешней характеристике дизе-

ля:

— первый — с учетом принятых ограничений по максимальному давлению, скорости нарастания давления и обеспечения минимальной топливной экономичности;

— второй — обеспечивающий минимальные выбросы с ОГ продуктов неполного сгорания топлива;

— третий — при постоянном значении УНПТ равном 8 градусов до ВМТ, обеспечивающий существенное снижение выброса оксида азота при ухудшении топливной экономичности на режиме номинальной мощности на 10 % и режиме максимального крутящего момента 5 %.

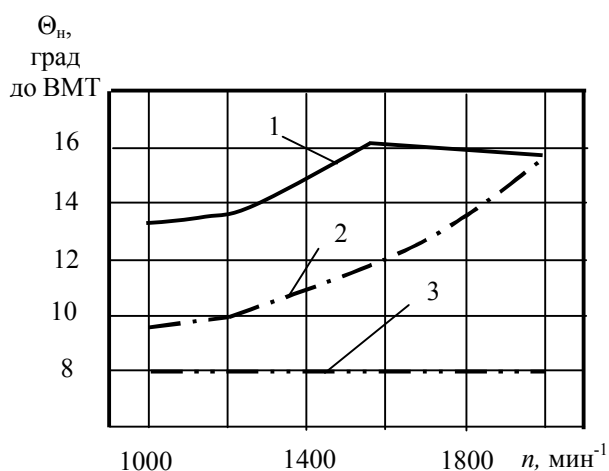


Рис. 2. Законы управления углом начала подачи топлива по внешней характеристике

В табл. 1 показано относительное изменение суммарных затрат на топливо и возмещение ущерба от вредного воздействия на окружающую среду ОГ для трех выбранных законов управления УНПТ. Как видим из таблицы, уменьшение УНПТ с целью обеспечения минимальных выбросов с ОГ продуктов неполного сгорания топлива и одновременно снижения выброса оксида азота на частотах вращения коленчатого вала позволяет уменьшить суммарные затраты на 10...11 %. Дальнейшее уменьшение угла (третий закон управления) несмотря на заиетное ухудшение топливной экономичности дизеля, также

позволяет обеспечить снижение суммарных топливно-экологических затрат при $n=2000 \text{ мин}^{-1}$ на 21 %, при 1600 мин^{-1} на 25 % и при $n=1200 \text{ мин}^{-1}$ 14 % относительно закона, обеспечивающего на минимальную топливную экономичность дизеля. Это связано с существенным снижением затрат на возмещение ущерба от вредного воздействия на окружающую среду оксидов азота.

Таблица 1. Относительное изменение суммарных затрат на топливо и возмещение ущерба от вредного воздействия ОГ на окружающую среду

Вариант закона	Относительное изменение суммарных затрат на топливо и возмещение ущерба от вредного воздействия ОГ на окружающую среду при $M_{кр \max}$		
	$n=1200 \text{ мин}^{-1}$	$n=1600 \text{ мин}^{-1}$	$n=2000 \text{ мин}^{-1}$
1	1,0	1,0	1,0
2	0,89	0,90	1,0
3	0,86	0,75	0,79

Выводы

В результате проведенных исследований быстрогоходного дизеля:

1. Установлено влияние УНПТ на показатели токсичности и дымности отработавших газов. Выявлено, что продукты неполного сгорания топлива имеют оптимальные значения, при которых обеспечиваются минимальные значения этих выбросов. Концентрация оксидов азота в отработавших газах при уменьшении угла начала подачи топлива в исследованном диапазоне снижается.

2. Проведенный анализ изменения суммарных затрат на топливо и возмещение экологического ущерба от вредного воздействия отработавших газов на окружающую среду показал топливно-экологическую эффективность управления углом начала подачи топлива при котором возможно ухудшение топливной экономичности на режиме номинальной мощности на 10 % и режиме максимального крутящего момента 5 %.

Список литературы:

1. Парсаданов И.В., Третьяков С.И. Оценка влияния угла начала подачи топлива на показатели динамической напряженности и топливной экономичности быстроходного дизеля // Двигатели внутреннего сгорания. – Харьков: НТУ “ХПИ”. – 2004. – № 1. – С. 4–7.
2. Парсаданов И.В. Повышение качества и конкурентоспособности дизелей на основе комплексного

топливно-экологического критерия. – Харьков: Издательский центр НТУ “ХПИ”, 2003. – 244 с.
3. Звонков В.А. Токсичность двигателей внутреннего сгорания. – М.: Машиностроение, 1981. – 160 с.
4. Разлейцев Н.Ф. Особенности и закономерности образования окислов азота в дизелях. // Двигатели внутреннего сгорания. – 1996. – Вып. 55. – С. 158 – 172.

УДК 539.3

**Н.Г. Шульженко, д-р техн. наук, П.П. Гонтаровский, канд. техн. наук,
Н.Г. Гармаш, канд. техн. наук, Т.В. Протасова асп.**

РАЗВИТИЕ РАСЧЕТНЫХ МОДЕЛЕЙ ДЛЯ ИССЛЕДОВАНИЯ ТЕПЛООВОГО И ТЕРМОНАПРЯЖЕННОГО СОСТОЯНИЙ СОСТАВНЫХ ПОРШНЕЙ ДВС

Повышение удельной мощности и экономичности двигателей внутреннего сгорания характеризуется повышением температур в камере сгорания и деталях цилиндра-поршневой группы. Надежность работы ДВС во многом определяется тепловым и термонапряженным состоянием, определение которого целесообразно расчетным путем.

Для выполнения подобных исследований разработаны универсальные и специализированные программные комплексы [1,2], позволяющие решать стационарные и нестационарные задачи термомеханики. Ввиду сложности конструкции и условий ее работы важное значение приобретает построение расчетной модели. Широкое распространение получили осесимметричные термоупругие расчетные схемы. Поскольку изменения температуры поршня со стороны камеры сгорания составляют около 10 °С и ослабевают на глубине около 1 мм, граничные условия теплообмена усредняются за цикл работы двигателя. Граничные условия приводятся к условиям конвективного теплообмена, когда на участке по-

верхности задаются усредненные за цикл температура среды и коэффициент теплообмена. Поскольку в поршне около 30-40% составляет лучистый теплообмен, то полный теплообмен целесообразно разделить на конвективную и лучистую составляющие. Это позволяет точнее определить колебания температур и напряжений на поверхности поршня со стороны камеры сгорания, точнее определять граничные условия теплообмена при изменении режима работы двигателя.

В составных поршнях теплообмен между жаровой накладкой и другими деталями происходит через заранее неизвестную область контакта, которая изменяется за такт работы дизеля, а также в процессе изменения режима работы. В связи с этим расчет термонапряженного состояния составных поршней целесообразно проводить в рамках термоконтактной задачи [3]. Без определения зоны контакта и контактных давлений некорректно находить распределение температурных полей, а без распределения температуры – решить контактную задачу. Задачи