

РАСЧЕТНОЕ ФОРМИРОВАНИЕ ОПТИМАЛЬНЫХ ЗАКОНОВ УПРАВЛЕНИЯ ДЛЯ ПРОГРАММ ЭЛЕКТРОННЫХ СИСТЕМ УПРАВЛЕНИЯ ДИЗЕЛЯМИ

Грехов Л.В., Кулешов А.С.
МГТУ им. Н.Э.Баумана, г. Москва

На территории Европы прекращается производство топливной аппаратуры транспортных дизелей без электронного управления. Это обусловлено не только возможностями улучшения показателей дизелей в широком поле рабочих режимов, но и жесткой необходимостью: переход к нормам выбросов вредных веществ уровня Евро-IV, вступающих в силу с 2005, оказывается невозможным без использования электронного управления.

Путь к созданию наиболее дорогостоящего компонента систем управления – программы оптимального управления лежит через проведение обширных испытаний данного дизеля в многопараметрическом поле действующих факторов. Эта экспериментальная работа требует специального дорогостоящего оборудования (в том числе для анализа отработавших газов) и по оценкам ведущих зарубежных специалистов может занимать до трех лет непрерывной работы.

Предлагаемый нами альтернативный путь подхода к проблеме – формирование базовой программы управления с использованием результатов компьютерной оптимизации рабочих процессов и дальнейшее экспериментальное уточнение (калибровка) алгоритма по сокращенной программе. Другой путь – полная замена или еще большее сокращение объема экспериментальной работы за счет применения самообучающихся систем управления. Однако, этот подход применительно к дизелям на сегодня не проработан и является скорее пожеланием, чем реальным предложением.

В данной статье излагается методика компьютерной оптимизации рабочего процесса для создания простейшей программы управления. Она излагается на примере задачи управления топливной системой Common-Rail для дизеля типа ЗМЗ-514.8. Работа проведена МГТУ им. Н.Э.Баумана для нужд и при финансовой поддержке ОАО НИКТИД (г.Владимир). Работа также использована для нужд проектирования ТНВД системы Common-Rail, т.к. позволяет получить поле рациональных давлений нагнетания по режимам работы дизеля.

Метод получения полей оптимальных параметров – математическое моделирование и оптимизация рабочего процесса – базируется на использовании программного комплекса ДИЗЕЛЬ-РК, разработанного в МГТУ им. Н.Э.Баумана под руководством к.т.н. Кулешова А.С. [1].

Оптимизация параметров управления велась в поле частот и нагрузок дизеля для ограниченного числа точек, выбор которых обуславливался

стремлением точнее обеспечить эффективную работу дизеля вблизи важнейших контрольных режимов оговоренных нормативами ЕЭК ООН, а также со стремлением учета весовой доли каждого режима в суммарных выбросах. Принималось во внимание, что не все параметры рабочего процесса могут регулироваться в процессе работы дизеля и необходимо найти компромиссные значения, обеспечивающие минимум суммарных выбросов. К таким параметрам относятся, например, число, диаметр и углы ориентации сопловых отверстий, расположение распылителя, форма камеры сгорания, степень сжатия и др.

Проведению оптимизационных исследований предшествовал этап идентификации математической модели ДВС, которая проводилась на 9 режимах работы двигателя. В качестве прототипа был взят базовый дизель ЗМЗ-514.3 (4ЧН8,7/9,4) с механическим ТНВД типа VE Bosch. Целью идентификации является такой выбор эмпирических коэффициентов заложенных в математические модели, который обеспечит высокую точность расчета всего рабочего процесса ДВС без перенастройки коэффициентов для каждого режима. В процессе идентификации сравнивались расчетные и экспериментальные данные по удельному эффективному расходу топлива, по максимальному давлению в цилиндре, расходу воздуха, выбросам частиц (дымности ОГ). В результате экспериментальные данные были подтверждены расчетом с довольно высокой точностью. Погрешности в 3-5% обусловлены естественными ошибками моделирования, дефицитом и неточностью исходных данных, индивидуальными особенностями испытанного дизеля и др.

В процессе разработки алгоритма управления использовались характеристики однофазного впрыскивания, обеспечиваемые топливными системами Common-Rail. Они рассчитывались для каждого режима с использованием программного комплекса ВПРЫСК разработанного в МГТУ им. Н.Э.Баумана проф. Греховым Л.В.[2]. Для оптимального поиска были выбраны 9 опорных точек (отмечены кружками на рис. 3,4). В каждой выделенной точке поля режимов рабочий процесс оптимизировался по минимуму целевой функции S_e .

$$S_e = C_{PM} \frac{PM_{действ}}{PM_{норм}} + C_{NOx} \frac{NOx_{действ}}{NOx_{норм}};$$

где: $PM_{действ}$, $NOx_{действ}$ – удельные выбросы твердых частиц и окислов азота, полученные в результате расчетов;

$PM_{норм}$, $NOx_{норм}$ – нормируемые удельные выбросы (например, для норм Евро-II соответственно 0,15 и 7 г/кВт·ч);

C_{PM} , C_{NOx} – эмпирические коэффициенты, полученные при идентификации математической модели для данного типа двигателя.

Согласно нашей концепции, физический смысл критерия S_e , заключается в удалении полученной расчетной точки от начала координат на по-

ле с координатами выбросов “ NO_x - частицы”. Чем меньше S_e , тем ближе наш результат к минимальным выбросам (рис. 1).

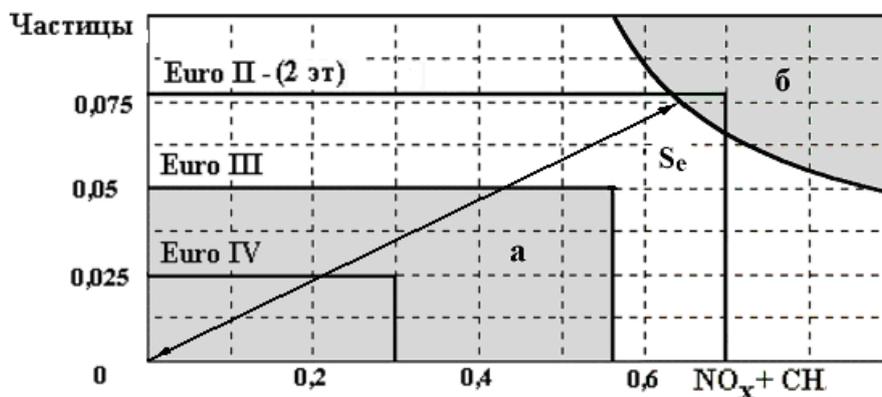


Рис. 1. Выбросы быстроходными дизелями твердых частиц и газообразных вредных веществ: а – допускаемое нормами поле, б – поле действительных выбросов дизеля, S_e – критерий оптимизации.

При поиске алгоритма оптимального управления производилась оптимизация рабочего процесса дизеля в каждой из девяти выбранных точек по продолжительности (ϕ_i) и углу опережения впрыскивания (θ_i). В качестве ограничений принималось максимальное давление в цилиндре $P_{max} < 13$ МПа и максимальное давление впрыскивания $P_{inj} < 165$ МПа. Варьированием продолжительности впрыска ϕ_i и опережением θ_i добивались минимума S_e на каждом режиме. Для удобства выбора оптимума на расчетное поле наносились изолинии удельного эффективного расхода топлива (SFC) и P_{inj} и конечно же, целевой функции S_e . Пример анализа результатов оптимизации приводится на рис. 2, соответствующем режиму максимального крутящего момента.

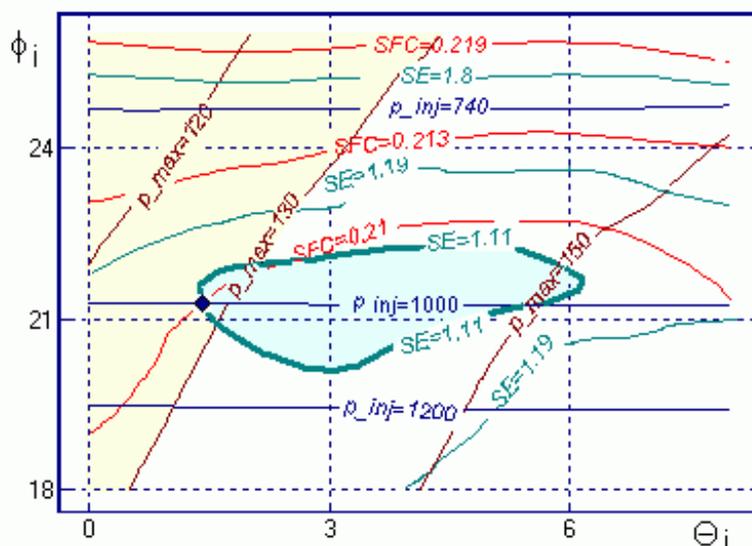
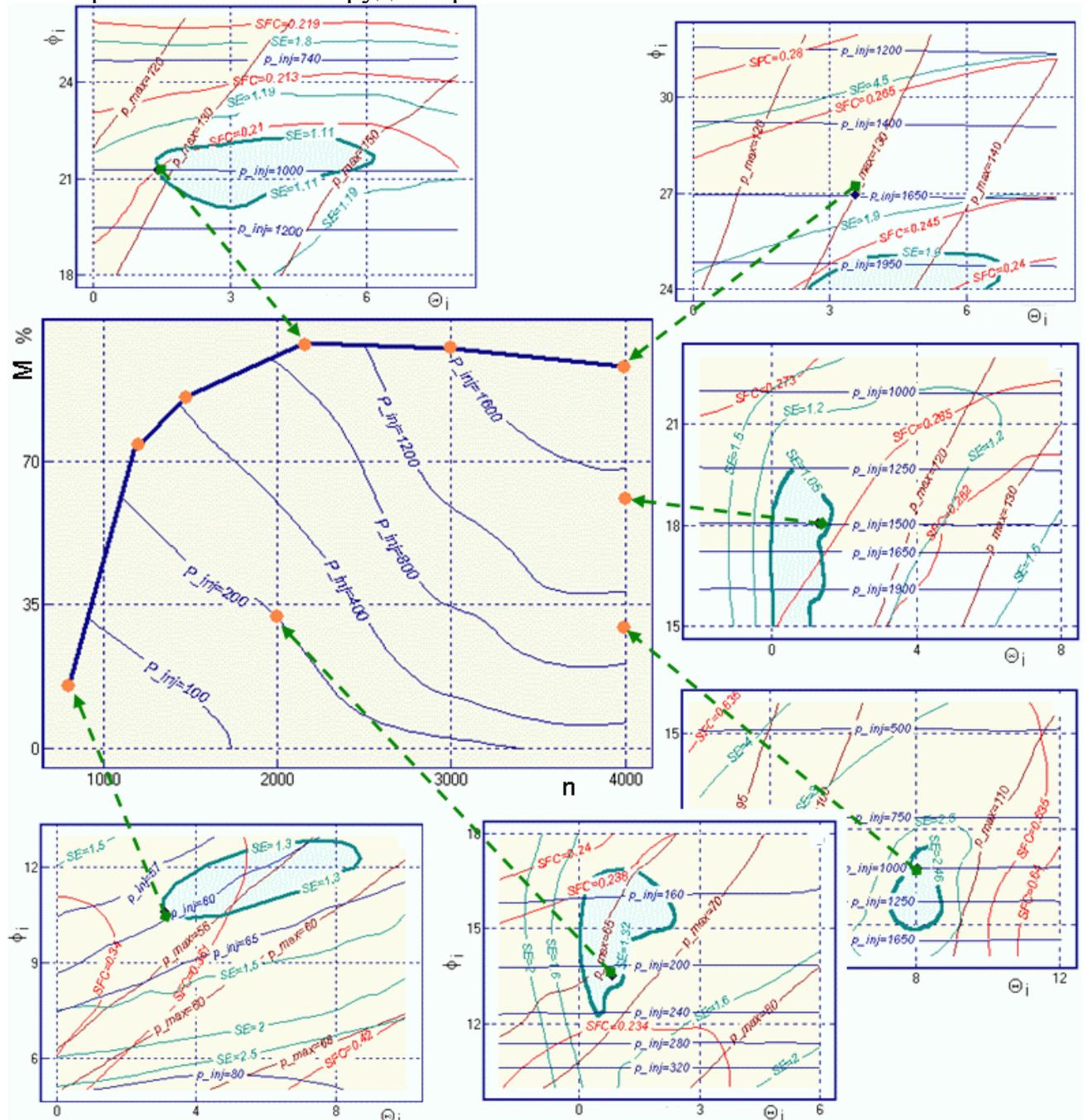


Рис. 2. Результаты расчета рабочего процесса дизеля ЗМЗ-514 на режиме максимального крутящего момента ($n = 2200$ мин⁻¹) в координатах оптимизируемых параметров: продолжительности и опережения впрыскивания.

На каждом режиме ситуация была специфична. Например, на рис. 2 оптимумом считаем левую область зоны $S_e \leq 1,11$ по соображениям выполнения ограничения $P_{max} \leq 13$ МПа. Ограничение по P_{inj} в данном случае не актуально. На режиме же полной мощности, рис. 3, выбор оптимальной точки обусловлен только ограничениями P_{inj} и P_{max} , не допускающими работы в оптимальной области с минимальным значением $S_e \leq 1,8$. Приходилось принимать и более трудные решения.



Так на номинальном режиме минимума S_e не позволяли достигнуть ограничения и по P_{max} и по P_{inj} (рис. 3). В зоне минимальной частоты и нагрузки пришлось еще более ухудшить экономичность дизеля. Пока отбор рабочих точек производится “вручную”. Однако, с накоплением опыта, возможно создание алгоритма автоматизированного выбора рабочих точек (на рис. 2 и 3 они выделены ромбом).

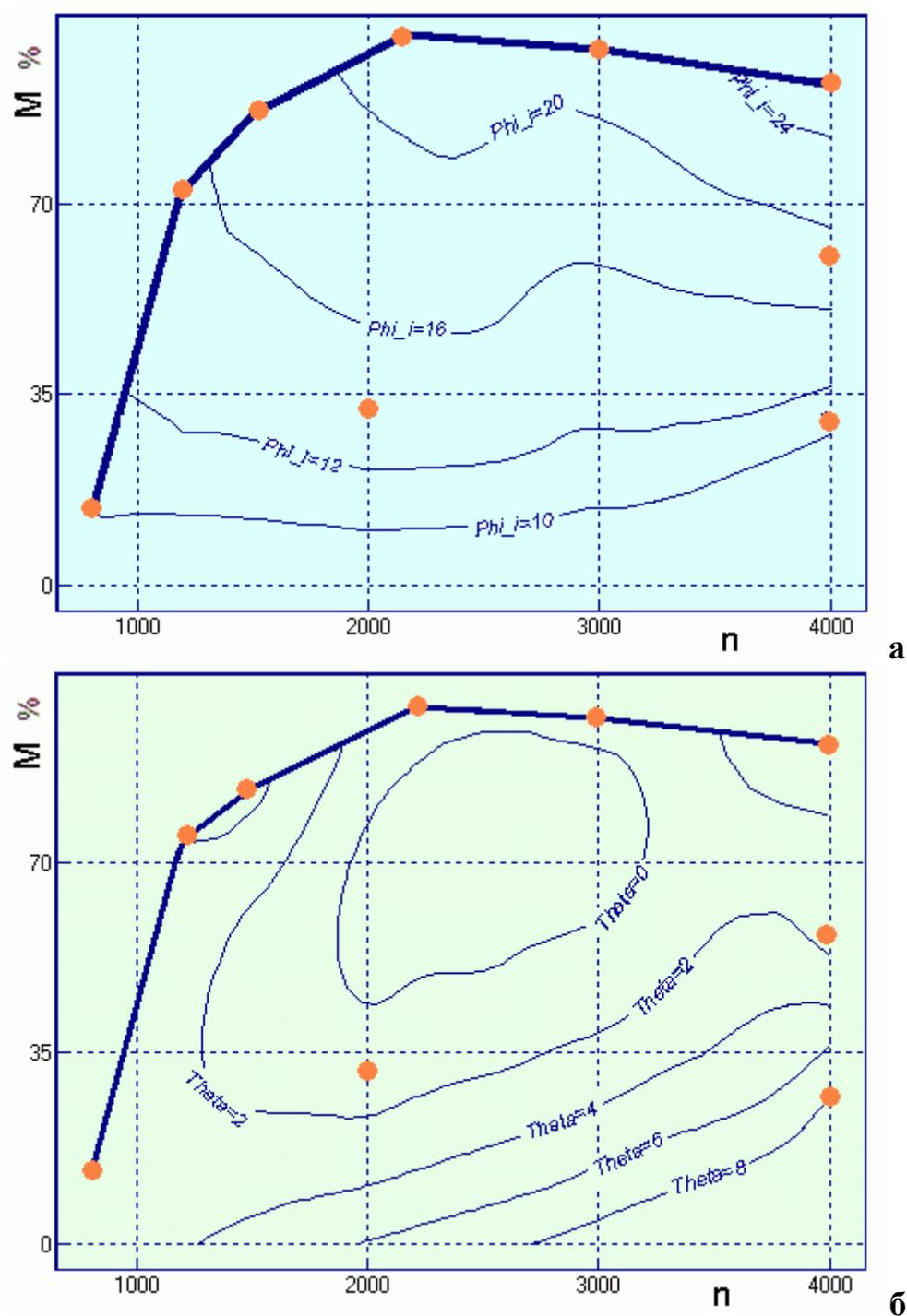


Рис. 4. Результаты оптимизации для продолжительности (а) и опережения впрыскивания (б) в поле частоты (n) и нагрузки (M) дизеля.

По результатам оптимизации в выбранных точках, с использованием интерполяции, были построены поля оптимальных параметров в рабочем диапазоне режимов дизеля, так на рис. 3. представлено поле давления впрыска. Аналогично построены поля продолжительности и опережения впрыскивания (рис. 4).

Полученные результаты позволяют сформировать программы оптимального управления топливоподачей. В данном случае они были получены для достижения минимума загрязнения воздуха. При постановке других целей, например, достижения наилучшей экономичности, результаты будут другими. Однако и те и другие цели могут обеспечиваться на одном объекте при смене программ управления.

В заключение следует отметить, что для практической работы потребуется обработать более 12...14 точек, но затраты времени даже трудно сравнивать с затратами на натурные испытания. Приведенные результаты отражают работу на установившихся режимах. Формирование программ управления переходными режимами – отдельная тема разговора. Предложенный метод допускает автоматизацию, в этом случае заменить такой подход в плане оперативности получения алгоритма управления не может никакая другая методика решения задачи. Применимость результатов обусловлена апробацией и достоверностью математической модели, эксплуатируемой и совершенствуемой на протяжении 20 лет. Полученные результаты использованы также для нужд проектирования ГНВД.

ЛИТЕРАТУРА

1. Kuleshov A.S.: "Model for predicting air-fuel mixing, combustion and emissions in DI diesel engines over whole operating range", SAE Paper No. 2005-01-2119, 2005.

2. Грехов Л.В., Иващенко Н.А., Марков В.А. Топливная аппаратура и системы управления дизелей: Учебник для вузов. – М.: Легион-Автодата, 2004. – 344 с., ил.

ОЦЕНКА ПОКАЗАТЕЛЕЙ СИЛОВЫХ УСТАНОВОК АВТОМОБИЛЕЙ В ПОЛНОМ ЖИЗНЕННОМ ЦИКЛЕ

Козлов А.В.

МГТУ им. Н.Э. Баумана, г. Москва

В настоящее время автомобилестроение и автомобильный транспорт являются основными потребителями энергии, природных ресурсов и одним из главных источников загрязнения атмосферы. Наиболее ресурсоёмким и экологически опасным компонентом автомобиля является силовая установка.