

2. Материалы семинара компании Lubrisol. Москва, 17.06.2003 г.
3. Заиков Г.С. Химия и снабжение человечества энергией. Наука и жизнь, 2005, №2.
4. Каган Д.Н., Шпильрайн Э.Э., Лапидус А.Л. Газохимия, 2008.
5. Патент РФ RU C2 2349624. Способ и установка для переработки органического и минерального вещества в жидкое и газообразное топливо.
6. Алексеев Н.В., Самохин А.В., Цветков Ю.В. Плазменно-каталитическая конверсия углеводородов. Химическая технология, № 9, 2001, с.7-11.
7. Коротеев А.С., Миронов В.М., Свирчук Ю.С. Плазмотроны: конструкции, характеристики, расчет. - М.: Машиностроение, 1993-296 с.
8. Патент на полезную модель 87472 Россия, МПК F02M 27/04. Устройство для обработки топлива двигателя внутреннего сгорания .

Использование многопараметрической нейросетевой модели для управления энергоустановками на базе двигателя внутреннего сгорания

к.т.н. Петриченко Д.А., к.т.н. доц. Хрипач Н.А., к.т.н. Лежнев Л.Ю., к.т.н. Папкин Б.А.,
Шустров Ф.А., Татарников А.П.,
ИП, МГТУ «МАМИ»
8(495)223-05-23 доб. 1019, borispapkin@yandex.ru

Аннотация. В данной работе изложен подход к созданию программно-аппаратного комплекса для автоматизированной многопараметрической оптимизации управления двигателями внутреннего сгорания (ДВС), работающих на квазистационарных режимах в составе транспортных средств, с целью снижения токсичности и улучшения топливной экономичности. Обозначен выбор метода решения проблемы и основные результаты.

Ключевые слова: многопараметрическая нелинейная оптимизация параметров управления режимом работы ДВС, искусственная нейронная сеть.

Введение

Выполнение ужесточающихся норм токсичности, предъявляемых к транспортным средствам, требует применения более точных стратегий управления, обеспечивающих на протяжении всего процесса эксплуатации транспортного средства требуемый уровень токсических компонентов отработавших газов и приемлемый расход топлива. Это возможно достичь за счёт применения сложных алгоритмов управления, построенных на основе многопараметрических моделей узлов и агрегатов транспортного средства. Настройка подобных алгоритмов требует значительных затрат времени и ресурсов.

Поэтому необходимо разрабатывать программно-аппаратные комплексы, которые могли бы помочь инженеру-калибровщику в процессе выбора требуемых значений параметров управления. Подобные программные продукты должны базироваться на основе процедур многопараметрической оптимизации, способной подбирать требуемые параметры управления на основе сложного критерия оптимизации, учитывающего токсические и экономические показатели ДВС.

Одной из важных проблем при разработке стратегии управления гибридным транспортным средством является выбор оптимального режима работы ДВС, характеризуемого парой значений крутящего момента и частоты вращения ДВС, для каждого характерного значения требуемой мощности. Правильный выбор режима работы ДВС, характеризуемый достижением минимального значения комплексного критерия оптимизации, обеспечит минимальный расход топлива транспортного средства при приемлемом уровне токсичных компонентов отработавших газов.

Целью данной работы, проводимой в рамках проекта «Разработка и создание технологии автоматизированной многопараметровой оптимизации управления двигателями внутреннего сгорания, работающих на квазистационарных режимах в составе транспортных средств, с целью снижения токсичности и улучшения топливной экономичности» при фи-

нансовой поддержке Министерства образования и науки Российской Федерации, является разработка программного средства, позволяющего определять оптимальный режим работы ДВС для каждого характерного значения его мощности на основе экспериментальных данных, полученных в процессе стендовых испытаний.

Подход к реализации

Современный ДВС является сложным многопараметрическим объектом, управление которым необходимо строить с учётом многих противоречащих друг другу критериев (рисунок 1).

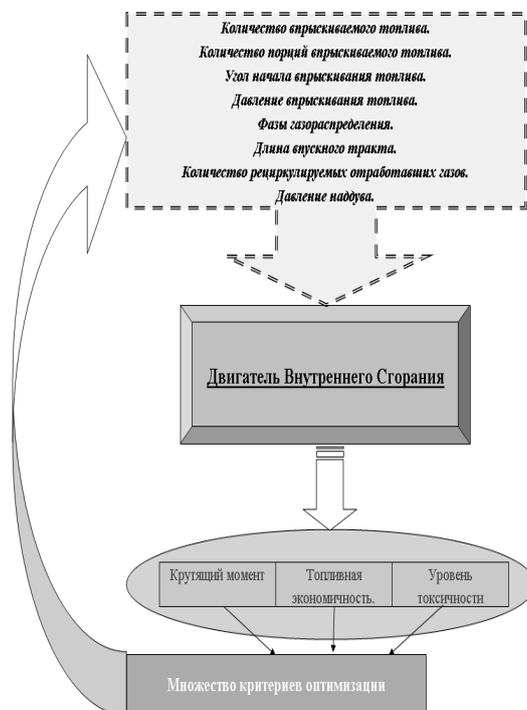


Рисунок 1 - Параметры управления и показатели работы современного ДВС

Например, управление процессом сгоранием современного транспортного ДВС возможно осуществить, изменяя следующие параметры управления:

- количество впрыскиваемого топлива;
- количество порций впрыскиваемого топлива;
- угол начала впрыскивания топлива;
- давление впрыскивания топлива;
- фазы газораспределения;
- длина впускного тракта;
- количество рециркулируемых отработавших газов;
- давление наддува.

В результате изменения хотя бы одного из вышеперечисленных параметров управления ДВС меняются, и часто в противоположных направлениях, значения показателей работы ДВС, такие как:

- значение крутящего момента (TORQUE);
- топливная экономичность (Ge);
- уровень токсичности.

Поэтому при настройке (калибровке) параметров ECU инженеру-калибровщику придется сталкиваться с решением многокритериальной оптимизационной задачи. А поскольку зависимость показателей работы ДВС от параметров управления ДВС является ещё и нелинейной, то это приводит к значительному увеличению объёма экспериментальных исследований, как на моторном стенде, так и непосредственно на автомобиле.

Одним из возможных решений задач длительной и дорогой многокритериальной настройки параметров ECU ДВС "вручную", т.е. непосредственно инженерами калибровщика-

ми, является применение автоматизированных средств настройки параметров управления. В мире производятся программные комплексы для облегчения решения этой задачи, к примеру такие как проекта "GMMC-Combustion Engine Optimization" [1] или проект FRONTIER [2].

Создание ДВС является сложной и многокритериальной задачей, так как одновременно необходимо иметь низкий уровень расхода топлива, токсичности.

Целью многокритериальной оптимизации является найти все Парето оптимальные решения: решение является Парето оптимальным, если не существует другого решения, которое является лучшим по всем критериям. В этом проекте использованы глобальные и локальные оптимизационные алгоритмы в комбинации с моделированием для поиска Парето оптимальных параметров конструкции относительно нескольких целевых функций.

В рамках выполнения данного проекта были разработаны новые оптимизационные методы, базирующиеся на аппроксимации с помощью радиально-базисных функций. Радиально-базисная функция использована для аппроксимации целевой функции и ключевым свойством алгоритма является способность адаптировано улучшать эту аппроксимацию, особенно в интересующей зоне пространства переменных (для ДВС области низких расходов топлива и низких уровней токсичности по твёрдым частицам и оксидам азота).

Результатом работы алгоритма является набор Парето оптимальных решений и аппроксимация всех целевых функций с помощью радиально-базисных функций, которые могут быть использованы для дальнейших расчётов. Использование радиально-базисной аппроксимации позволяет алгоритму использовать меньшее количество вызовов функций по сравнению с генетическим алгоритмом [3]. Так как вызов целевой функции требует затрат времени, то сокращение их количества значительно улучшает эффективность алгоритма оптимизации. Дополнительно можно сказать, что численное моделирование имеет погрешность (шум) и при замене процедур интерполяции на процедуры аппроксимации с помощью радиально-базисных функций достигается увеличение степени устойчивости алгоритма оптимизации, т.е. стабильности нахождения оптимального решения. Очень многообещающие результаты получены для дизельного ДВС на основе результатов экспериментальных исследований [1,4].

Следует отметить следующее, что применение радиально-базисных искусственных нейронных сетей (ИНС) является стандартным подходом при аппроксимации статических функций, т.е. функций, в которых значения не зависят от времени. Поэтому применение радиально-базисных самообучающихся ИНС для построения статической модели ДВС в отношении установления зависимости между выходными показателями работы ДВС и его управляющими воздействиями является целесообразным решением.

В качестве средства реализации программного продукта был выбран математический пакет Matlab, который совмещает в себе достоинства интегрированной среды разработки с множеством пакетов для решения прикладных технических и математических задач.

Выбор многопараметрической нейросетевой модели ДВС

При использовании ДВС в составе двигатель-генераторной установки одним из чрезвычайно важных вопросов является выбор режима работы ДВС, характеризуемого значениями крутящего момента и частоты вращения, для всего диапазона мощностей ДВС.

Набор оптимальных пар значений крутящего момента и частоты вращения ДВС называется линией оптимального управления режимом работы ДВС.

Степень оптимальности выбора режима работы ДВС характеризуется минимумом значения критерия оптимальности для каждого характерного значения мощности.

Критерий оптимальности является интегральным показателем, объединяющим в себе критерии оптимальности по каждому из показателей работы ДВС, например удельному эффективному расходу топлива и удельным значениям вредных выбросов по таким компонентам, как CO, HC, NO_x, PM.

Т.е. упрощённая формулировка линии оптимального управления режимом работы ДВС звучит следующим образом: на каких значениях крутящего момента и частоты вращения должен работать ДВС, чтобы обеспечить заданную мощность, при минимальных значениях

удельного расхода топлива и удельных выбросах токсичных компонентов отработавших газов ДВС.

Чрезвычайно важным является тот факт, что поиск кривой оптимального режима управления ДВС является многокритериальной задачей с количеством критериев оптимизации достигающим значения пять (удельный эффективный расход топлива, CO, HC, NOx и PM). Выбор оптимального режима является также компромиссным решением, т.к. часто возникает ситуация, когда с изменением режима работы для конкретного значения мощности значение одного из критериев оптимизации увеличивается, тогда как другого уменьшается. Набор входных и выходных данных нейросетевой модели ДВС показан на рисунке 2

Таким образом, решено применять интегральный критерий оптимизации, который представляет собой взвешенную сумму значений критериев оптимизации по отдельным показателям работы ДВС.

В результате реализации процедуры оптимизации режима работы ДВС для каждого характерного значения мощности подбирается пара оптимальных значений крутящего момента и частоты вращения.

Поэтому в качестве входных параметров модели ДВС необходимо выбрать именно крутящий момент и частоту вращения вала ДВС.

Выбор выходных параметров модели ДВС определяется теми показателями работы ДВС, относительно которых определяется степень оптимальности выбора того или иного режима работы ДВС. В общем случае подобными показателями являются: удельный эффективный расход топлива и удельные значения вредных выбросов по таким компонентам, как CO, HC, NOx, PM.

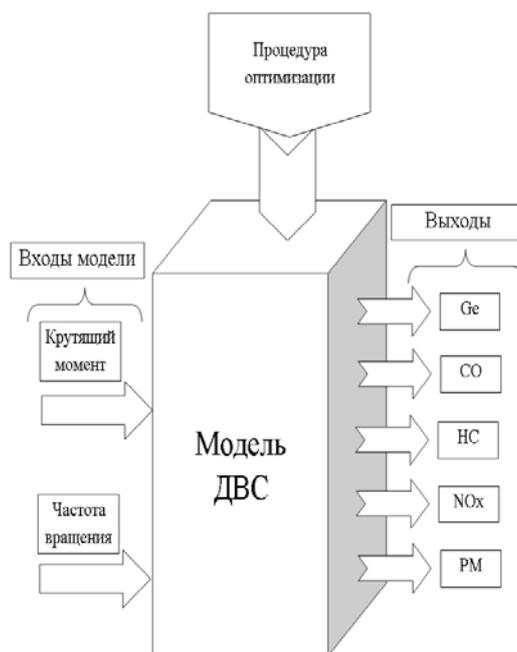


Рисунок 2 - Входные и выходные данные модели ДВС

В данной работе предполагается оптимизировать только статические режимы работы ДВС, поэтому целесообразно применять радиально-базисный тип ИНС [5]. В основе их функционирования лежит линейная комбинация радиально-базисных функций.

Общий алгоритм оптимизации

Общий алгоритм оптимизации ДВС, реализованный в программном продукте, представлен на рисунке 3.

На первом этапе осуществляется подготовка и нормализация исходных экспериментальных данных ДВС, включающих в себя крутящий момент и частота вращения, а также соответствующие им удельный эффективный расход топлива и удельные значения вредных выбросов по таким компонентам, как Ge, CO, HC, NOx, PM.

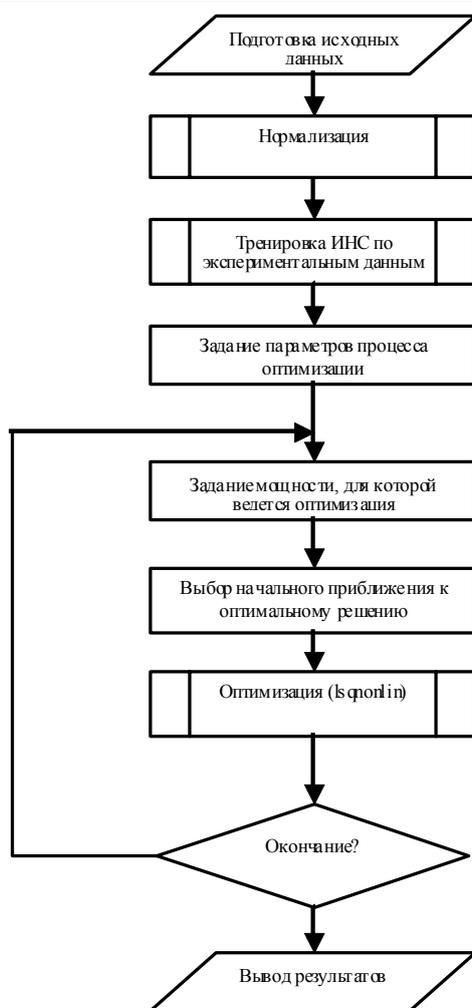


Рисунок 3 - Алгоритм процедуры оптимизации

Далее на основе этих данных проводится обучение ИНС – формирование нейросетевой модели ДВС. Затем сформированная модель двигателя внутреннего сгорания на основе ИНС оптимизируется по выбранным критериям для каждого значения мощности с помощью подпрограммы *lsqnonlin*.

Результаты оптимизации **Исходные данные**

В качестве исходных данных использовались экспериментальные данные двигателя внутреннего сгорания, полученные для множества пар значений Крутящий Момент – Скорость Вращения.

На рисунке 4 графически представлены некоторые полученные данные для частоты вращения 3500 об/мин.

Оптимизация проводилась по интегральному критерию, состоящему из следующих показателей работы ДВС:

- G_e , g/kWh – эффективный удельный расход топлива ДВС, измеряемый в грамм/(кВт*час);
- CO , g/kWh – удельная концентрация оксидов углерода CO ДВС, измеряемая в грамм/(кВт*час);
- HC , g/kWh – удельная концентрация углеводородов HC ДВС, измеряемая в грамм/(кВт*час);
- NO_x , g/kWh – удельной концентрации оксидов азота NO_x ДВС, измеряемой в грамм/(кВт*час);
- PM , g/kWh – удельная концентрация твёрдых частиц PM ДВС, измеряемой в грамм/(кВт*час).

Данные показатели имели равный вес в интегральном критерии.

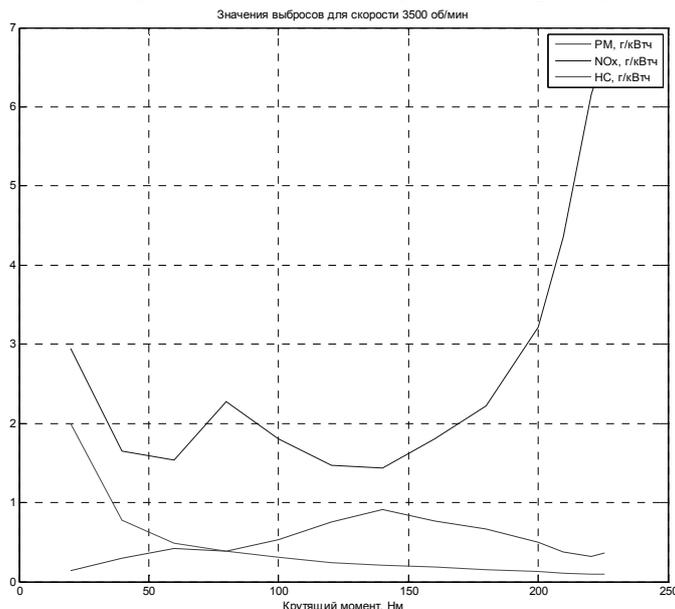


Рисунок 4 - Экспериментальные значения выбросов для частоты вращения 3500 об/мин

Результаты

Результаты оптимизации представляют собой три вектора, при которых с максимальным приближением достигнуты целевые значения: крутящий момент, Нм; частота вращения, об/мин; мощность, кВт.

Процедура оптимизации была выполнена за время 00:04:37.57. Результаты представлены в таблице 1:

Таблица 1

Результаты оптимизации

Момент, Нм	Частота вращения, об/мин	Мощность, кВт
243,80	3239,69	82,71
238,91	3149,18	78,79
232,95	3068,87	74,86
228,17	2968,90	70,94
221,22	2892,64	67,01
213,62	2820,15	63,09
206,29	2738,68	59,16
196,92	2678,66	55,24
188,96	2593,16	51,31
178,72	2531,98	47,39
169,06	2454,94	43,46
158,46	2382,67	39,54
147,22	2309,88	35,61
135,51	2233,03	31,69
123,20	2151,77	27,76
111,06	2049,61	23,84
97,52	1949,76	19,91
81,81	1866,03	15,99
64,81	1777,19	12,06
46,76	1661,59	8,14
25,92	1551,50	4,21

Заключение

В данной работе показан подход к разработке процедуры автоматизированной многопараметрической оптимизации управления двигателями внутреннего сгорания (ДВС), работающих на квазистационарных режимах в составе транспортных средств, с целью снижения токсичности и улучшения топливной экономичности. Оптимальные режимы работы ДВС характеризуются парами значений крутящего момента и частоты вращения, определенные для каждого характерного значения мощности в результате оптимизации.

В качестве критерия оптимальности был выбран интегральный показатель, объединяющий в себе критерии оптимальности по токсическим и экономическим показателям работы ДВС.

Были представлены результаты оптимизации параметров управления ДВС для серии экспериментальных данных, которые показали высокую скорость и надежность выбранного пути и алгоритма.

Следующие работы в рамках данного проекта будут посвящены дальнейшей разработке программно-аппаратного комплекса оптимизации параметров управления ДВС.

Литература

1. "GMMC-Combustion Engine Optimization Project," 2011. [Online]. Available: <http://www.fcc.chalmers.se/comp/projects/combustion-engine-optimisation>.
2. FRONTIER Co, "GT-SUITE User's Conference," in Optimization of Automotive Control Parameters with FRONTIER, 2001.
3. Гладков Л.А. Генетические алгоритмы: Учебное пособие, 2-е издание ed., Москва: Физматлит, 2006.
4. Мэтьюс Д. Численные методы. Использование MATLAB., Вильямс., 2001.
5. Buhmann M.D. Radial Basis Functions: Theory and Implementations, Cambridge University, 2003.
6. Смирнов А.Б., Петриченко Д.А., Шустров Ф.А., Татарников А.П. "Оптимизация параметров управления ДВС на статических режимах работы на основе многопараметрической нейросетевой модели" Современные проблемы науки и образования - 2011.-№6.(приложение "Технические науки"). (Электронный журнал) URL: <http://online.rae.ru/880> (дата обращения: 19.01.2012 г.).
7. Хрипач Н.А., Лежнев Л.Ю., Папкин Б.А., Тингаев Н.В., Шустров Ф.А., Татарников А.П. "Механотронные системы управления газообменом и сгоранием" Современные проблемы науки и образования - 2011. -№6. (приложение "Технические науки"). (Электронный журнал) URL: <http://online.rae.ru/889> (дата обращения: 19.01.2012 г.).
8. Ипатов А.А., Кутенёв В.Ф., Каменев В.Ф., Фомин В.М., Хрипач Н.А., Лежнев Л.Ю., Артёмов А.А. " Разработка автомобилей с гибридной силовой установкой, работающей на водородных видах топлива " Труды НАМИ / ГНЦ РФ ФГУП «НАМИ». – Вып. №242: Комбинированные энергоустановки автотранспортных средств: сб. научн. ст. – М., 2009. – с. 26 – 66.
9. Ипатов А.А., Хрипач Н.А., Лежнев Л.Ю., Кириллов В.А., Папкин Б.А. "Автономные системы выработки тепловой и электрической энергии на биотопливе" Энергия: экономика, техника, экология. - 2010. - № 3. - с. 6-12.

Математическое моделирование гидропривода вентилятора для системы охлаждения автомобильного двигателя

Труханов К.А.
МГТУ им. Н.Э.Баумана,
trukhanov@mail.ru

Аннотация. В статье приведена математическая модель гидропривода вентилятора для охлаждения автомобильного двигателя, уравнения, блок схемы соответствующих элементов гидросистемы. В качестве модели потока при описании про-