

№	Типы целевой функции $F(x)$	Типы ограничений $\{c_i(x)\}$
1	Функция одной переменной	Ограничения отсутствуют
2	Линейная функция; Сумма квадратов линейных функций	Простые ограничения на переменные
3	Квадратичная форма	Линейные функции
4	Сумма квадратов нелинейных функций	Линейные функции с разреженной матрицей коэффициентов
5	Гладкая нелинейная функция	Гладкие нелинейные функции
6	Нелинейная функция с разреженной матрицей Гессе	Гладкие нелинейные функции с разреженной матрицей Якоби
7	Негладкая нелинейная функция	Негладкие нелинейные функции

В работах Сухарева А.Г., Поляка Б.Т. можно найти более детальное и математически полное описание теории оптимизации, основное внимание уделено вопросам оптимизации при наличии ограничений. Изложены алгоритмы и приведены тексты программ на Фортране, реализующие различные методы условной и безусловной оптимизации. Кроме того приведены сравнительные характеристики методов и результаты решения большого числа прикладных задач.

Рассматриваются известные, зарекомендовавшие себя на практике, а также новые постановки задач, методы и алгоритмы выбора структуры и оптимизации сложных механических систем по критерию надежности. Многочисленные числовые примеры и фрагменты описания программного обеспечения носят иллюстративный и учебный характер.

Во всех работах наиболее часто используемыми признаются методы:

1. Градиентные. Решение задач математического программирования градиентным методом заключается в том, что значение экстремума некоторой (функции отыскивается путем последовательных шагов из начальной допустимой точки по направлению ее градиента (антиградиента), не выходя из области допустимых решений. Разные варианты градиентного метода различаются способом выбора шагового множителя на каждой итерации, теми или иными способами вычисления градиентов (аппроксимация, приближенные выражения для градиентов) и т. п.

2. Методы динамического программирования. Алгоритмы, основанные на методе динамического программирования, в настоящее время широко применяются для решения разнообразных классов прикладных задач. Основная идея метода динамического программирования заключается в замене одновременного выбора большого числа параметров их поочередным выбором. Многомерная задача оптимизации сводится к многошаговой задаче меньшей размерности.

3. Метод штрафных функций основан на преобразовании исходной задачи с ограничениями в одну или последовательность задач безусловной оптимизации. С помощью (функций, задающих ограничения, строится т.н. штраф, который добавляется к целевой функции исходной задачи так, что наруше-

ние какого-либо из ограничений становится невыгодным с точки зрения полученной задачи безусловной оптимизации.

4. В методе барьеров применяются барьерные функции, которые, подобно штрафным, используются для преобразования задачи с ограничениями в задачу безусловной оптимизации или в последовательность таких задач. Барьерные функции как бы препятствуют выходу из допустимой области.

5. Симплексный метод - некоторая схематическая процедура решения задачи линейного программирования, состоящая в движении от одной экстремальной точки допустимой области к другой с лучшим (или по крайней мере не худшим) значением целевой функции.

6. Метод линеаризации базируется на идее линейной аппроксимации целевой функции и ограничений задачи в окрестности очередной точки. Причем к линейной аппроксимации добавляется квадратичный член и в качестве вспомогательных возникают задачи квадратичного программирования.

Таким образом, для выбора метода решения задачи оптимизации конструктивных параметров барабанов ленточных конвейеров необходимо прежде всего определить вид целевой функции и ограничений.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

1. Власов В.З. Тонкостенные пространственные системы. – М.: Стройгиз, 1958.-502с.
2. Валишвили Н.В., Гаврюшин С.С. Решение нелинейных задач деформации тонких оболочек. // Расчеты на прочность. – М.: Машиностроение, вып.21. С.237-242.
3. Мяченков В.И., Мальцев В.П. Методы и алгоритмы расчета пространственных конструкций на ЭВМ ЕС. – М.: Машиностроение, 1984. – 280с.
4. Образцов И.Ф. и др. Метод конечных элементов в задачах строительной механики летательных аппаратов. – М.: Высшая школа, 1985, - 392с.
5. Баландин Н.Г., Николаев А.П. К расчету сочлененных оболочек с помощью четырехугольного конечного элемента с матрицей жесткости 36×36 . // Расчеты на прочность. – М.: Машиностроение, 1980, вып.21.- С.225-236.

УДК 533.6

Ассад М.С.

КИНЕТИКА ГОРЕНИЯ ГАЗОВЫХ СМЕСЕЙ В ДВИГАТЕЛЯХ ВНУТРЕННЕГО СГОРАНИЯ

Использование в двигателях внутреннего сгорания газообразных топлив (пропана, метана, водорода и других, а также жидких углеводородных топлив с газовыми добавками) требует правильной организации процесса сгорания и определения характеристик горения смесей этих топлив с воздухом.

Сгорание – основа рабочего процесса теплового двигателя. Кинетика сгорания в двигателях внутреннего сгорания на

всех его стадиях представляет собой комплекс сложных взаимодействующих физико-химических процессов, в основе которых лежит химическая реакция между горючим веществом и окислителем.

Работы разных исследователей [1, 2, 3, 5, 7] свидетельствует, что сгорание углеводородов обычно носит комбинированный цепно-тепловой характер. При этом, следует отме-

Ассад М.С., кандидат технических наук, Барановичский государственный университет.

Беларусь, БарГУ, 225404, Брестская обл.-ть, г. Барановичи, ул. Войкова, 21.

тить, что цепной и тепловой механизмы реакции не противостоят, а дополняют друг друга.

В основе теплового механизма (по Аррениусу) реакции горения лежит указание на весьма существенное влияние температурного фактора на процесс сгорания, и в частности, на скорость реакции. Химическая реакция, при этом, рассматривается как процесс взаимодействия активированных молекул исходных веществ, в результате которого образуются молекулы конечных продуктов.

С другой стороны, теория о цепном механизме (по Н. Н. Семенову) большинства химических реакций, в том числе и реакций горения, указывает на то, что превращение исходных веществ в конечные в процессе реакции проходит ряд стадий, на протяжении которых образуются промежуточные химически активные вещества.

В начальной стадии, протекающей при сравнительно низкой температуре по цепному механизму, происходит накопление перекисей до определенной концентрации, при которой наступает их спонтанный распад. Продуктом распада перекисей являются альдегиды и в некоторой мере окись углерода. Распад перекисей сопровождается явлением холодного пламени, при котором наблюдается незначительное повышение давления и температуры (примерно на 100°C). В холодном пламени выделяется лишь небольшое количество теплоты сгорания топлива (примерно 5 - 10%). Свечение холодного пламени вызвано хемилуминисценцией.

Вслед за холодным пламенем при соответствующих условиях возникает голубое пламя, которое по своей химической природе сходно с холодным пламенем, но отличается значительным повышением температуры и давления и большим выделением тепла. Голубое пламя приводит к накоплению продуктов неполного сгорания и активных частиц. Разогрев смеси и высокая концентрация активных частиц создают условия для резкого теплового ускорения сгорания, в результате которого возникает горячее пламя и выделяется основная доля теплоты сгорания топлива при его окислении до конечных продуктов сгорания.

Как отмечалось выше, воспламенение, как многостадийный процесс, начинается обычно при сравнительно низких температурах. Однако, применительно к двигателям внутреннего сгорания, где возникают большие давления, воспламенение происходит при высоких температурах. Кроме того, при высоких температурах и давлениях многостадийность процесса воспламенения наблюдается не столь четко, как при низких давлениях и температурах, так как периоды задержки в первом случае резко сокращаются [6].

Известно, что в двигателях внутреннего сгорания воспламенение горючей смеси возможно двумя способами: самовоспламенением (дизельный вариант) и зажиганием посторонним источником – искрой (карбюраторный вариант).

Согласно рассмотренному выше цепочно-тепловому механизму реакции сгорания и теории теплового спонтанного воспламенения (взрыва), для воспламенения необходимо разогреть смесь до определенной начальной температуры, называемой температурой самовоспламенения. Эта температура определяется условием равенства скорости выделения тепла от реакции и передачи тепла от нагреваемой горючей смеси в окружающее пространство. Температура самовоспламенения зависит, с одной стороны, от свойств горючей смеси (теплота сгорания, теплоемкость и других факторов, определяющих скорость выделения тепла), а с другой стороны, от геометрии и размеров камеры сгорания, коэффициента теплоотдачи и других параметров, определяющих характер теплоотдачи.

Помимо температуры самовоспламенения существенное значение имеет величина задержки воспламенения - промежуток времени от начала реакции до перехода ее во всеобъемлющее сгорание (взрыв), т. е. до того момента, когда реакция

начинает резко ускоряться благодаря возрастанию температуры. Практическое значение данной характеристики заключается в том, что она во многом определяет антидетонационные свойства жидких углеводородных топлив, а также их воспламеняемость в тепловых двигателях дизельного варианта.

Самовоспламенение в дизельных двигателях происходит благодаря значительному повышению температуры всей горючей смеси, вызванному, как правило, создаваемым в конце такта сжатия большим давлением.

По своей физической природе зажигание сходно с воспламенением. В карбюраторных двигателях рабочая смесь поджигается искрой, проскакивающей между электродами свечи зажигания. Воспламенившийся небольшой объем смеси инициирует процесс сгорания, постепенно распространяющийся по всему рабочему заряду. Происходит это следующим образом. Между электродами свечи зажигания возникает электрический разряд (искра), вызывающий локальное резкое повышение температуры (примерно до 10^4C), которая затем быстро снижается вследствие теплоотдачи в горючую смесь и электроды. В результате этого все больший объем горючей смеси разогревается. Если необходимый критический объем, ограниченный радиусом $r_{кр}$ (рис. 1) [2], будет разогрет до заданной критической температуры, то произойдет дальнейшее распространение пламени. Соблюдение описанного условия искрового зажигания определяется, с одной стороны, свойствами и состоянием горючей смеси (теплопроводность, диффузия, минимальная энергия воспламенения и др.), от которых зависят критический объем и температура, а с другой стороны - мощностью искры.

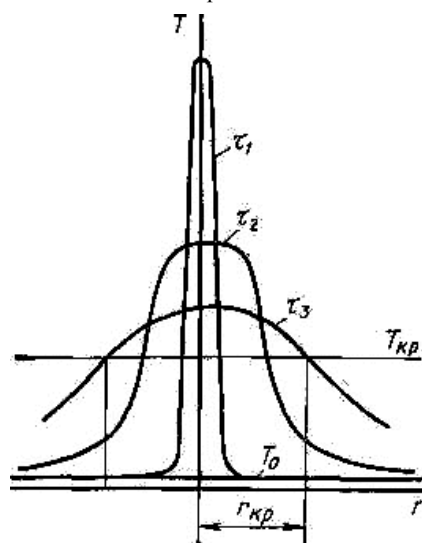


Рис. 1. Диаграмма искрового зажигания (по Я. Б. Зельдовичу).

Разные исследователи указывают на специфические особенности зажигания искрой. По мнению Л.Н. Хитрина [8], поскольку основным условием зажигания является обеспечение распространения пламени, важнейший фактор искрового зажигания - тепловой. Другая точка зрения считает, что важнейшей особенностью является ионизация горючей смеси в районе искры, что послужило основанием к появлению теории ионной природы искрового зажигания. Третья теория [4] считает вероятным совместное влияние теплового и ионизационного факторов при зажигании искрой.

При зажигании искрой существенное значение имеет распространение фронта пламени, который рассматривается как поверхность воспламенения, разделяющая сгоревшую и несгоревшую части горючей смеси. При этом важнейшим параметром является скорость распространения фронта пламени.

Автором данной работы проводились исследования процесса горения различных газо-воздушных смесей. Эксперименты проводились в прозрачной модельной камере сгорания с постоянным объемом (внутренний диаметр 80 мм, высота 15 мм), т. е. при постоянном суммарном объеме сгоревшей и несгоревшей частей горючей смеси. Особенности сгорания в сосуде постоянного объема связаны прежде всего с увеличением давления по мере выгорания горючей смеси, обусловленным повышением температуры и расширением продуктов сгорания. Воспламенение подаваемой топливовоздушной смеси производилось от постороннего источника - свечи зажигания.

Существенное влияние на продолжительность сгорания в ДВС, а, следовательно, на скорость распространения пламени оказывает давление в конце такта сжатия (перед сгоранием). В связи с этим в задачи данных исследований входило изучение влияния начального давления в модельной камере, величина которого примерно соответствует давлению в такте сжатия ДВС, на продолжительность сгорания газо-воздушных смесей. Начальное давление в модельной камере сгорания создавалось компрессором и контролировалось манометром. Продолжительность сгорания смеси в модельной камере фиксировалась сигналом, поданным от датчика, смонтированного в камере сгорания, к осциллографу и выведенным на монитор компьютера в виде графика.

Из рис. 1 видно, что добавление водорода в пропано-воздушную смесь приводит к уменьшению продолжительности ее сгорания (τ). Так, увеличение содержания водорода в пропано-воздушной смеси с 2 % (линия 1) до 3,86 % (линия 2) приводит к уменьшению времени сгорания смеси в среднем на 20 % (с 43 мс до 35 мс). При этом, с повышением начального давления $P_{нач}$ уменьшается скорость распространения пламени $V_{н}$. Увеличение начального давления в камере с 0,11 МПа до 0,5 МПа приводит к увеличению продолжительности сгорания в обоих случаях почти на 22 %, а при дальнейшем повышении начального давления до 0,9 МПа продолжительность сгорания смеси с содержанием водорода 3,86 % (линия 2) увеличится почти на 43%.

Продукты конверсии пропана сгорают значительно быстрее, чем исходная пропано-воздушная смесь при эквивалентных условиях (линия 3). Наименьшее значение продолжи-

тельности сгорания (τ) среди исследованных топливовоздушных смесей имела водородно-воздушная смесь стехиометрического состава (линия 4). Однако, для чистого водорода и продуктов конверсии пропана начальное давление при распространении пламени не является таким же определяющим фактором, как для пропано-воздушной смеси с добавками водорода H_2 .

Таким образом, проведенные исследования позволяют сделать следующий вывод:

Небольшие добавки водорода (2-4 % по объему) уменьшают продолжительность горения углеводородного топлива в камере сгорания в среднем на 20 %. Но, наиболее выигрышный режим горения в камере сгорания наблюдается при использовании чисто водородного топлива. Время горения водорода в камере почти на порядок меньше, чем у пропана во всем диапазоне начальных давлений.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

1. Воинов А. Н. Сгорание в быстроходных поршневых двигателях. - М.: «Машиностроение», 1977. - 276 с.
2. Генкин К. И., Аксенов Д. Т., Струнг Б. Н. Газовые двигатели. - М.: «Недра», 1970. - 328 с.
3. Генкин К. И., Хазанов З. С. Исследование механизма сгорания в двигателе // в кн.: Горение и взрыв. Материалы третьего всесоюзного симпозиума по горению и взрыву. - М.: «Наука», 1972. - С. 409 - 415.
4. Льюис Б., Эльбе Г. Горение, пламя и взрывы в газах. - М.: «Мир», 1968. - 592 с.
5. Семенов Н. Н. О некоторых проблемах химической кинетики и реакционной способности. - М.: АН СССР, 1958. - 686 с.
6. Соколик А. С., Карпов В. П. Форкамерно-факельное зажигание как основа нового класса двигателей. - В кн.: Сгорание и смесеобразование в дизелях. - М.: АН СССР. 1960. - С. 125 - 142.
7. Соколик А. С. Самовоспламенение, пламя и детонация в газах. АН СССР. - М.: 1960. - 428 с.
8. Хитрин Л. Н. Физика горения и взрыва. - М.: МГУ, 1957. - 442 с.

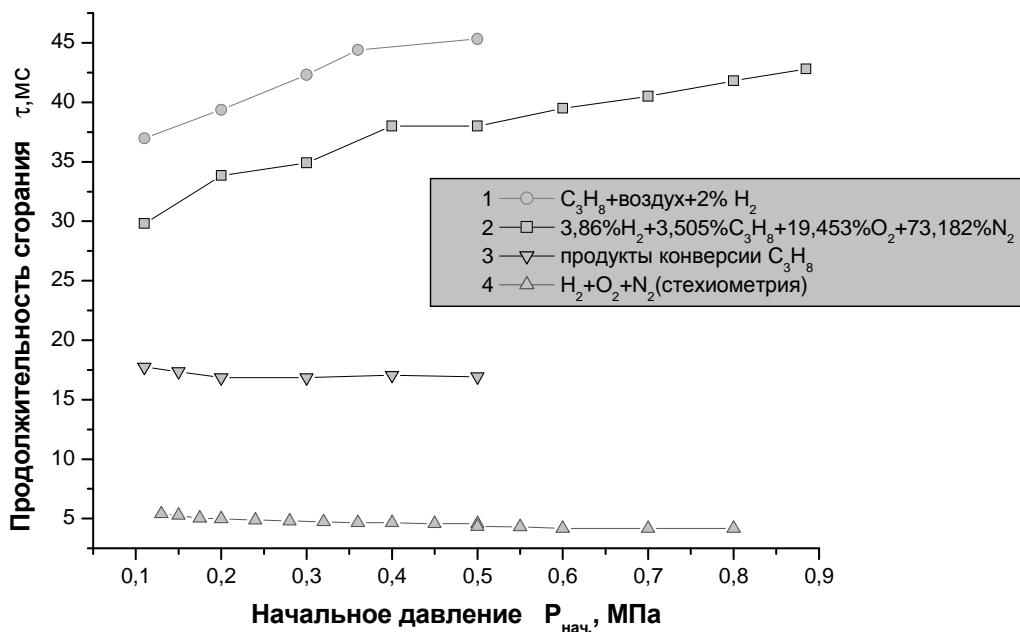


Рис. 2. Зависимость продолжительности сгорания от начального давления некоторых газо-воздушных смесей.