ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНАЯ ФАКТОРНАЯ МОДЕЛЬ ПРОЦЕССА АКУСТО-МАГНИТНОЙ ОБРАБОТКИ ТОПЛИВА

Коржаков А.В. – соискатель
Адыгейский государственный университет
Лойко В.И. – д. т. н., профессор
Кубанский государственный аграрный университет

Всевозрастающее воздействие человека на природу привело к возникновению экологических проблем в экосистеме биосферы, в частности, проблемы загрязнения атмосферы выхлопными газами автотранспорта. Для решения этой задачи предлагается использование новых методов очистки отработанных газов от вредных примесей за счет обеспечения более полного сгорания топлива двигателей автотранспорта.

Одним из методов снижения вредных выбросов в атмосферу является предварительная обработка топлива автомобильных двигателей в акустических и электромагнитных полях.

Этот метод был применен в акусто-магнитном аппарате (АМА), который устанавливается в систему питания двигателей внутреннего сгорания с целью повышения эффективности сгорания топлива. Более полное сгорание топлива приводит к снижению содержания вредных примесей в отработанных газах, что, в свою очередь, способствует улучшению экологической обстановки.

АМА обеспечивает более полное сгорание топливно-воздушной смеси путем предварительной обработки углеводородной молекулы топлива в акусто-магнитном поле, которое работает в резонансном режиме, без изменения конструкции двигателя.

В основе разработки лежит диспергирование за счет эффекта омагничивания, осуществляемое на основе закона физики о ядерномагнитном резонансе (увеличение энергоемкости атомов при направленном воздействии магнитного поля), магнитострикции и флокуляции (организация и объединение коллоидных частиц в хлопьевидные агрегаты (коагуляция)).

Предварительные исследования экологической эффективности данного метода в лабораторных и реальных условиях показали, что в отработанных газах резко снижается содержание тяжелых металлов и углерода. В результате проведения прямых многократных измерений были получены и обработаны величины расхода топлива за единицу пройденного пути, а также экологические показания СО и СН.

Измерение расхода топлива проходило в абсолютно одинаковых условиях: на одном и том же отрезке дороги, в одном направлении движения, в одно время суток. Сначала проводили серию опытов на автомобиле с карбюраторным двигателем без АМА. Следующая серия опытов была осуществлена после установки на автомобиль АМА. Всего проведены три серии опытов, каждая из которых состояла из восьми опытов. Полученные результаты сведены в таблицу.

Результаты измерения расхода топлива

№ опыта	Зазор рабочей области, мм	Частота входного сигнала, Гц	Расход топлива на 100 км, л
1	20	200	6,58
2	40	200	6,21
3	20	400	5,75
4	40	400	5,32

На основе проведенных экспериментов непосредственно на самом техническом объекте (автомобиле) была построена экспериментальная факторная модель, так как сложность системы и условия функционирования не позволяют надеяться на требуемую точность их математического описания теоретическими методами.

При построении экспериментальной факторной модели объект моделирования представляется в виде "черного ящика", на вход которого подаются переменные $\vec{X}$ (частота входного сигнала, зазор рабочей области) и $\vec{Z}$ (рабочие условия), а на выходе можно наблюдать и регистрировать переменные $\vec{Y}$ (расход топлива за единицу пройденного пути, экологические показания CO и CH). К числу входных переменных $\vec{X}$ и $\vec{Z}$ относятся внутренние и внешние параметры объекта проектирования, подлежащие оптимизации, а выходными переменными "черного ящика" являются выходные параметры объекта, характеризующие его эффективность и качество процессов функционирования и выбираемые в качестве критериев оптимальности [1, С. 464].

В процессе проведения эксперимента изменение переменных $\vec{X}$ и $\vec{Z}$ приводит к изменениям выходных переменных $\vec{Y}$. Для построения факторной модели эти изменения регистрировали и осуществляли необходимую их статистическую обработку с целью определения параметров модели.

Общепринято, что в вычислительных экспериментах объектом исследования является теоретическая математическая модель, на основе которой получают экспериментальную факторную модель. Для этого необходимо определить структуру и численные значения параметров модели.

Структуру модели выбираем на основе априорной информации об объекте с учетом назначения и последующего использования модели. Задача определения параметров модели полностью формализована. Она решается методами *регрессионного анализа*.

Регрессионную модель можно представить в виде выражения:

$$\vec{Y} = \vec{\varphi}\left(\vec{X}, \vec{Z}, \vec{B}\right),$$

где $\vec{B}$ – вектор параметров факторной модели.

Вид вектор-функции $\vec{\varphi}$ определяется выбранной структурой модели и при выполнении регрессионного анализа считается заданным, а параметры B подлежат определению на основе результатов эксперимента, проводимого в условиях действия помехи $\vec{E}$, представляемой в виде аддитивной составляющей функции отклика $\vec{Y}$ [1, С. 466].

Для получения адекватной математической модели необходимо обеспечить выполнение определенных условий проведения эксперимента. При осуществлении активного эксперимента задается план варьирования факторов, т. е. эксперимент планируется заранее.

В активном эксперименте факторы могут принимать только фиксированные значения. Минимальный X_{min} и максимальный X_{max} уровни всех факторов выделяем в факторное пространство, некоторый гиперпараллелепипед, представляющий собой *область планирования*. В области планирования находятся все возможные значения факторов, используемые в эксперименте.

Вектор $\vec{X}^0 = \left(X_1^0, X_2^0\right)$ задает точку центра области планирования. Координаты этой точки X_j^0 выбирают из соотношения:

$$X_j^0 = \frac{X_{jmax} + X_{jmin}}{2}.$$

Точка X_j^0 определяет основной уровень факторов $X_j^0 = \overline{1, n}$.

Интервал варьирования фактора X_j вычисляют по формуле:

$$\Delta X_j = (X_{j\,max} - X_{j\,min}).$$

Факторы нормируем, а их уровни кодируем. В кодированном виде верхний уровень обозначают +1, нижний –1, а основной – 0.

Нормирование факторов осуществляют с помощью соотношения:

$$x_j = \frac{\left(X_j - X_j^0\right)}{\Delta X_j}, j = \overline{1, n}.$$

Для переменных x_j начало координат совмещено с центром эксперимента, а в качестве единиц измерения используют интервалы варьирования факторов. Геометрическое представление области планирования показано на рисунке. Центр эксперимента находится в точке 0 с координатами X_1^0, X_2^0. Точки 1,2,3,4 являются точками плана эксперимента. План эксперимента удобно представлять в матричной форме [1, С. 471].

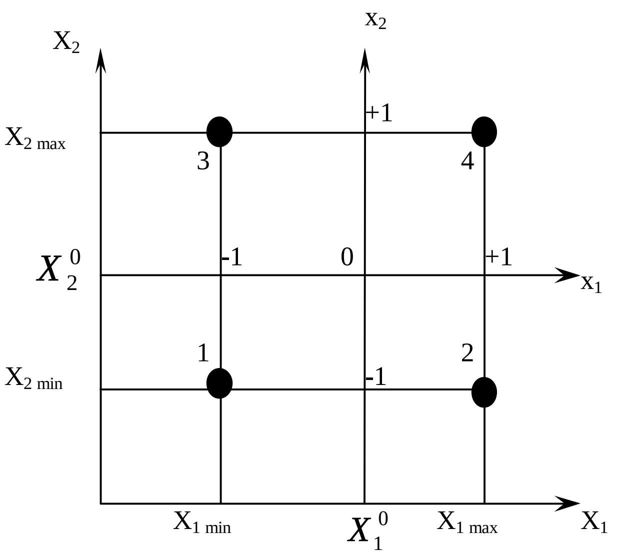

Рис. Геометрическое представление области планирования при двух факторах: X_1 и X_2

Матрица спектра плана имеет вид:

$$X = \begin{bmatrix} \vec{X}_1 \\ \vec{X}_2 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} X_{11} & X_{12} \\ X_{21} & X_{22} \end{bmatrix}.$$

Опыты проводились в последовательности, предусмотренной матрицей плана.

Параметры факторной математической модели определяли методами регрессионного анализа. Для этого использовали результаты эксперимента, которые можно представить функцией вида

$$Y = \varphi\left(\vec{X}\right) + \varepsilon,$$

где ε – аддитивная помеха случайного характера с нормальным законом распределения.

В качестве базисных функций используем переменные простейших полиномов: $y = b_0 + b_1x_1 + b_2x_2$. Параметры модели b_0, b_1, b_2 находим путем решения системы нормальных уравнений.

Используя данные таблицы, запишем систему нормальных уравнений, в результате решения которой получим модель:

$$Y = 7{,}855 - 0{,}0043\, X_1 - 0{,}02\, X_{2.}$$

Для определения тесноты связи предварительно вычисляли парные коэффициенты корреляции $r_{yx_1}, r_{yx_2}, r_{x_2x_1}$:

$$r_{x_2x_1} = 0{,}00;\ r_{yx_2} = -0{,}42\ r_{yx_1} = -0{,}91.$$

После этого находили коэффициент множественной корреляции $R_{\hat{y}x_1x_2}$ =1,00.

Таким образом, степень тесноты связей является очень высокой.

Для оценки адекватности и точности построенной модели сформируем остаточную последовательность: из фактических значений уровней ряда вычтем соответствующие значения по модели. Проверку случайности уровней ряда проведем на основе критерия пиков. Количество точек пиков равно единице, т.е. выполняется неравенство 1>0. Следовательно, можно сделать вывод о том, что свойство случайности ряда остатков подтверждается.

Результаты предыдущей проверки дают возможность провести проверку соответствия остаточной последовательности нормальному закону распределения. Воспользуемся RS-критерием: RS =1,64. Это значение попадает в интервал между нижней и верхней границами табличных значений данного критерия.

Проверка равенства нулю математического ожидания ряда остатков (–0,02) подтверждается без применения статистики Стьюдента.

Для проверки независимости уровней ряда остатков (отсутствия автокорреляции) вычислили значение критерия Дарбина – Уотсона d. Расчеты дают следующее значение критерия d =1,18. Данное значение сравниваем с двумя критическими значениями, которые для линейной модели в нашем случае можно принять: d_1=1,08 и d_2 =1,36. Так как расчетное значение попадает в интервал от d_2 до 2, то делаем вывод о независимости уровней остаточной последовательности.

Из вышесказанного следует, что остаточная последовательность удовлетворяет всем свойствам случайной компоненты временного ряда. Следовательно, построенная линейная модель является адекватной.

Для характеристики точности модели воспользуемся показателем средней относительной ошибки аппроксимации: $\bar{\varepsilon}_{\text{отн}} = 0{,}253$ (%). Полученное значение средней относительной ошибки свидетельствует о достаточно высоком уровне точности построенной модели.

1. Тарасик В.П. Математическое моделирование технических систем. Минск: ДизайнПРО, 1997.