

УДК 629.113

## МАТЕМАТИЧЕСКИЕ МОДЕЛИ МНОГОПАРАМЕТРОВЫХ ХАРАКТЕРИСТИК ДВИГАТЕЛЕЙ ВНУТРЕННЕГО СГОРАНИЯ

М.М. Дечко<sup>1</sup>, к.т.н., доцент, П.В. Авраменко<sup>1</sup>, к.т.н., доцент,  
Р.Э. Шейбак<sup>2</sup>

<sup>1</sup> УО «Белорусский государственный аграрный технический университет»,

<sup>2</sup> ГНУ «Объединенный институт машиностроения НАН Беларуси»,  
г. Минск, Республика Беларусь

### Введение

Наиболее примечательным в тенденции развитии современных самоходных машин в последние десятилетия является реализация множества новых функций, которые не были широко доступны ранее (электронное управление двигателем и трансмиссией, круиз-контроль, ABS и прочее). Создание таких систем для самоходных машин базируется на накопленных знаниях о их поведении в различных условиях эксплуатации, которые реализуются в виде математических моделей, закладываемых в мехатронные системы управления. Поэтому построение таких моделей и алгоритмов их реализации является сегодня актуальной задачей.

### Основная часть

В автотракторостроении применяют в основном двигатели внутреннего сгорания. Из двигателей внутреннего сгорания в настоящее время в Республике Беларусь и других странах СНГ наиболее распространены дизельные. Для оценки работы двигателя используют скоростные характеристики, которые представляют собой зависимость крутящего момента двигателя и его мощности от угловой скорости или частоты вращения его вала. Показатели двигателей могут быть определены только путем испытаний, преимущественно стендовых, которые позволяют регистрировать большое число эксплуатационных параметров и стабилизировать условия работы двигателя. Испытания двигателей регламентировано ГОСТ 18509-88 «Дизели тракторные и комбайновые. Методы стендовых испытаний», ГОСТ 14846-81 «Двигатели автомобильные. Методы стендовых испытаний», директивой ЕЭС 80/1269 и правилами № 024 ООН.

Зависимость удельного расхода топлива на некоторой частоте вращения коленчатого вала двигателя, полученного при определённой нагрузке, называется «многопараметровой скоростной характеристикой» (МПХ). Для использования МПХ в дальнейших расчетах и в устройствах электронного управления двигателями необходимо описать их характеристики уравнениями, которые могут быть получены аппроксимацией экспериментальных данных стендовых испытаний. Целью настоящей работы является разработка математической модели, наилучшим образом аппроксимирующей данные стендовых испытаний двигателей внутреннего сгорания, проводимых с целью получения многопараметровой характеристики двигателя.

Для анализа использованы данные стендовых испытаний двигателя Mercedes-Benz OM 501 LA. В ходе испытаний регистрировались:  $n$  – частота вращения вала двигателя, об/мин;  $M$  – крутящий момент на валу двигателя, Н·м;  $G$  – расход топлива в единицу времени, г/ч. На их основе рассчитывались:  $W = \frac{M}{n} \cdot 9550$  – мощность,

кВт;  $g_e = \frac{G}{M}$  – удельный расход топлива, г/(кВт·ч). Полученные экспериментальные значения показаны на графике (рисунок 1).

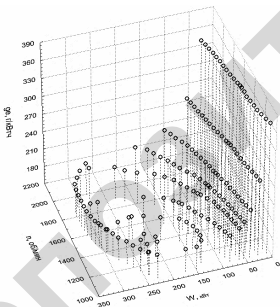


Рисунок 1 – График зависимости удельного расхода топлива от режима работы двигателя OM 501 при стендовых испытаниях

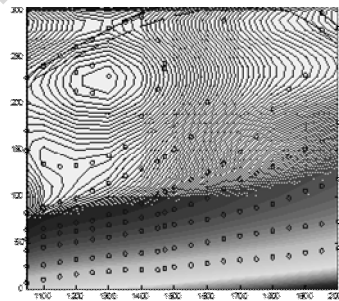


Рисунок 2 – Линии уровней функции  $g_e = f(n, W)$ , полученной аппроксимацией экспериментальных данных зависимости удельного расхода топлива от режима работы двигателя OM 501 полиномом 5-й степени

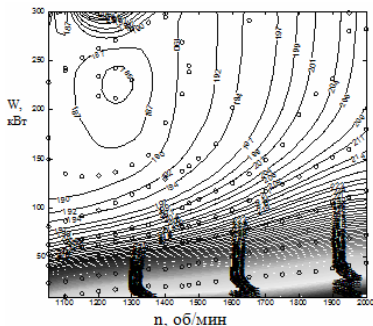


Рисунок 3 – Линии уровней функции  $g_e = f(n, W)$ , полученной аппроксимацией экспериментальных данных зависимости удельного расхода топлива от режима работы двигателя OM 501 сглаживающими B-сплайнами

В первом подходе используются методы аппроксимации кусочной функцией, получаемой на соседних узловых точках, во втором – непрерывной функцией для всего интервала варьирования независимых переменных. В нашем случае второй подход с использованием полиномов высоких степеней [1] не дал удовлетворительных результатов (рисунок 2). На рисунке видно появление локальной зоны в окрестности точки  $n = 1200$  об/мин,  $W = 140$  кВт, никак не отражающей экспериментальные точки. Полиномы более низких степеней не отражают резкое возрастание функции в интервале малых мощностей.

В настоящее время широкое распространение получили методы аппроксимации сплайнами. Однако, главным недостатком этого подхода для нашей задачи является ограничение областями и сетками узлов прямоугольного вида. Для произвольно размещенных узлов в многомерной задаче применяется вариационный подход [2, 3]. Для реализации сплайн-аппроксимации экспериментальные данные обрабатывали в 2 этапа. Была выбрана область режима работы двигателя, представляющая наибольший практический интерес: небольшой расход при достаточно высокой мощности:  $n = 1050-1325$  об/мин,  $W = 50-280$  кВт. Экспериментальные данные в этой области хорошо аппроксимируются кубическим B-сплайном. Для расчетов использо-

ваны процедуры программы MatLab. На основе уравнений сплайнов аппроксимации рассчитаны промежуточные точки и построена сетка узловых точек с равным шагом. На основе таблицы точек на сетке с равным шагом построена аппроксимация сглаживающим сплайном.

Полученный результат показан на рисунке 3.

### **Заключение**

Сравнивая результаты, представленные на рисунках 1-3, можно сделать вывод, что наилучшей математической моделью для описания многопараметровых характеристик двигателей, полученных экспериментальным путём, является аппроксимация на основе построения сглаживающих кубических сплайнов.

### **Литература**

1. К.И. Городецкий, В.С. Гольнев, Е.П. Ершов, А.М. Раскин, А.Н. Прищепенко, Д.Н. Шуваев. Многопараметровая топливная характеристика дизеля Cummins. // Тракторы и сельхозмашины, М.- 2012, № 2, с.44-46.

2. Завьялов Ю.С., Квасов Б.И., Мирошниченко В.Л. Методы сплайн-функций. – М.: Наука, 1980. – С. 352.

3. Ашкеназы В.О. Сплайн – поверхности. Основы теории и вычислительные алгоритмы. Учебное пособие. – Тверь: Тверской гос. ун-т, 2003. – 82 с.

УДК 629.36

## **СОВЕРШЕНСТВОВАНИЕ ПРИВОДА ХОДОВЫХ СИСТЕМ СЕЛЬСКОХОЗЯЙСТВЕННЫХ КОЛЕСНЫХ ТРАКТОРОВ**

**А.И. Бобровник<sup>1</sup>, д.т.н., профессор, Т.А. Варфоломеева<sup>2</sup>,  
В.М. Головач<sup>2</sup>, А.П. Болдан<sup>2</sup>, студент, Н.А. Поздняков<sup>1</sup>,  
А.А. Новик<sup>1</sup>**

<sup>1</sup> *Белорусский национальный технический университет,*

<sup>2</sup> *УО «Белорусский государственный аграрный технический университет»,  
г. Минск, Республика Беларусь*

### **Введение**

Выставка сельскохозяйственной техники «Agritechnica» – это глобальный форум инноваций всего сельскохозяйственного секто-