

УДК 621.437.629

Тарасенко В.Е., кандидат технических наук, доцент;
Жешко А.А., кандидат технических наук, доцент
УО «Белорусский государственный аграрный технический университет», г. Минск, Республика Беларусь

ПОСТРОЕНИЕ РЕГРЕССИОННОЙ МОДЕЛИ УДЕЛЬНОГО РАСХОДА ТОПЛИВА ДИЗЕЛЯ DEUTZ BF06M1013FC

***Аннотация.** В статье представлены оценка экономичности дизеля Deutz BF06M1013FC трактора «БЕЛАРУС-3022ДЦ» и выбор оптимальных режимов его работы посредством построения универсальной многопараметровой характеристики. Отмечается, что кривые удельного эффективного расхода топлива могут быть адекватно описаны с помощью регрессионной модели второй степени в функции эффективного давления и частоты вращения коленчатого вала дизеля.*

На долю сельского хозяйства приходится около 50 % всей энергии, потребляемой в Республике Беларусь, и в этом количестве топливо составляет более 45 % [1].

Известно [2], что эффективный удельный расход топлива определяется значением эффективного КПД, зависит от индикаторных показателей работы двигателя и механических потерь, т.е. эффективный удельный расход топлива определяется рабочим процессом, принятой конструкцией составляющих компонентов и оценивает экономичность двигателя в целом. Так, увеличение индикаторного КПД на 1 % снижает расход топлива на 5,9 г/(кВт·ч) (или на 2,3 %), при увеличении механического КПД – на 3,4 г/(кВт·ч) (или 1,3 %), эффективного КПД – на 7,3 г/(кВт·ч) (или на 2,9 %), а повышение теплоты сгорания дизельного топлива на 1 % снижает расход топлива на 2,4 г/(кВт·ч) (или на 1,0 %).

Снижение удельного расхода топлива на протяжении длительного периода времени является одной из основных задач развития и модернизации автотракторных ДВС.

В настоящее время внедрение электронных систем управления подачей топлива позволило осуществлять гибкое изменение цикловой подачи, оптимальное регулирование угла опережения впрыска

топлива, обеспечивать заданную внешнюю скоростную характеристику дизеля и др. [6, 7]. Однако проводимая высокотехнологичная модернизация топливных систем должна дополняться комплексом компьютерного моделирования как рабочих процессов ДВС, так и режимов их работы с целью обеспечения эффективного функционирования топливной системы в реальных условиях эксплуатации.

Целью настоящей работы явилось на основании серии нагрузочных характеристик дизеля Deutz BF06M1013FC трактора «БЕЛАРУС-3022ДЦ» построение универсальной многопараметровой характеристики данного двигателя, так как по ней можно наиболее полно оценить экономичность ДВС и выбрать оптимальные режимы его работы. Таким образом поставленная цель сводится к построению на плоскости зависимости интересующего параметра (в нашем случае – удельного эффективного расхода топлива, g_e , г/кВт·ч) двигателя одновременно от двух независимых переменных (среднего эффективного давления, p_e , бар и частоты вращения коленчатого вала, n , мин⁻¹).

График универсальной многопараметровой характеристики получается как результат проекции на плоскость XU (p_e, n) сечений поверхности отклика $g_e = f(p_e, n)$ при данных значениях g_e в трехмерном пространстве p_e, n, g_e .

На рисунке 1а представлена универсальная многопараметровая характеристика ДВС с замкнутыми кривыми удельного эффективного расхода топлива (g_e , г/кВт·ч) как функция среднего эффективного давления (p_e , бар), крутящего момента (T_k , Н·м) и частоты вращения коленчатого вала (n , мин⁻¹).

Точка наименьшего удельного эффективного расхода топлива, обычно именуемая «плюс экономичности», представлена на рисунке 1а как точка E_p . Эта точка, как правило, определяется при средних оборотах и загрузке в дизельных двигателях порядка 75 % от максимума [3].

Оптимальный режим работы двигателя с точки зрения потребления топлива соответствует точке E_p . Следовательно, при эксплуатации автотракторных ДВС следует придерживаться режимов, соответствующих окрестностям данной точки, т.е. области, очень близкой к ней, что обеспечит минимальное потребление топлива g_{emin} . Область, в которой $g_e < g_{emin}$, считается областью экономичной эксплуатации ДВС.

Однако, как известно, двигатель часто работает на частичной нагрузке, т.е. на частичной характеристике. Каждому значению эффективной мощности N_{ei} , $i = 1, \dots, n$ соответствует отдельная кривая расхода топлива и каждая из них имеет свою точку минимального значения (рисунок 1б).

Нанося точки минимального удельного расхода топлива на многопараметровую характеристику, можно получить кривую АВ, которая представляет характеристику минимального удельного расхода топлива или режим экономичного функционирования ДВС.

На базе испытательного центра «Трактор» ОАО «МТЗ» проведены испытания дизеля Deutz BF06M1013FC трактора «БЕЛАРУС-3022ДЦ». По результатам испытаний двигателя BF06M1013FC под нагрузкой через задний ВОМ трактора с использованием аттестованного стенда HORIBA DT2100 (№ 177229), позволяющего определять технико-экономические показатели ДВС и его тепловой режим, получены данные для построения серии нагрузочных характеристик. Методика испытаний соответствовала ГОСТ 30747-2001 (ИСО 789-1-90). Расход топлива (кг/ч) определялся с помощью расходомера AVL 733S.

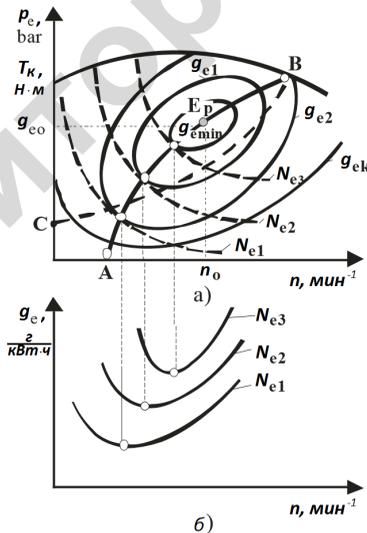


Рисунок 1 – Зависимость расхода топлива в ДВС от ряда параметров:
 а) универсальная многопараметровая характеристика ДВС;
 б) кривые удельного эффективного расхода топлива

Данные, полученные по результатам снятия серии нагрузочных характеристик, явились основой для построения универсальной многопараметровой характеристики дизеля Deutz BF06M1013FC. Методика построения изложена в источнике [4].

При обработке массива полученных экспериментальных данных выполнено построение точечной диаграммы с гладкими кривыми для формирования матрицы в функции $g_e = f(p_e)$. При этом, двигаясь по оси g_e с постоянным шагом 10 г/кВт·ч в диапазоне 450...230 г/кВт·ч, и уменьшая шаг до 2 г/кВт·ч в диапазоне малых удельных расходов 230...214 г/кВт·ч определялось, какое эффективное давление p_e соответствует данному расходу топлива при текущей частоте вращения. Например, для 2000 мин⁻¹, расходу 320 г/кВт·ч соответствует среднее давление 4,2 бар, а для 2400 мин⁻¹, при расходе 280 г/кВт·ч давление составляет 7,5 бар. Результаты определения точек по точечной диаграмме сводились в соответствующую матрицу.

Применительно к первоначальному массиву данных, полученному по результатам снятия ряда нагрузочных характеристик дизеля на наиболее характерных для него частотах вращения, выполнено удаление дубликатов точек матрицы и осуществлена линейная аппроксимация с использованием пакета прикладных программ MatLab. При этом загруженный в «матричную лабораторию» MatLab массив данных, привел к выводу предупреждения о том, что имеются дубликаты данных «Duplicate x-y data points detected: using average of the z values». Для чистки массива данных от выбросов использовали функцию

`[junk,i] = unique(n+sqrt(-1)*pe); n = n(i); pe = pe(i); ge = ge(i).`

Для аппроксимации данных, представленных в таблице 1, использовали модуль MatLab «Curve fitting tool», в котором указали переменные (n , p_e , g_e), тип модели (polynomial) и получили результат (рисунок 2).

Линейная аппроксимация позволила определить коэффициент детерминации, который для данной модели имеет довольно низкое значение $R^2 = 0,7005$. Результаты построения линейной множественной регрессии показали также, что полученная модель имеет слабую сходимостъ результатов.

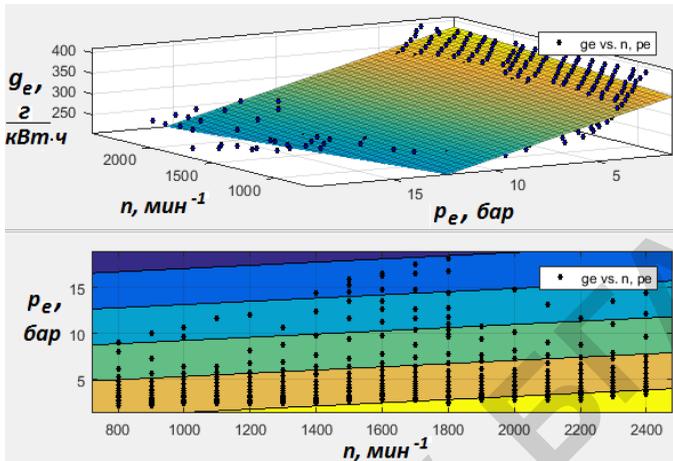


Рисунок 2 – Линейная аппроксимация данных матрицы в MatLab

Дальнейшая работа проводилась с использованием пакета анализа данных Excel. Для повышения точности результатов выполнены расчеты по построению модели в виде степенной функции расхода топлива от рассматриваемых факторов. Однако проведенные расчеты также показали низкое значение коэффициента детерминации, а именно $R^2 < 0,85$, неадекватность модели.

Исходя из анализа литературных источников [3, 5, 8], следует отметить, что статические характеристики двигателя внутреннего сгорания могут быть адекватно описаны с помощью полиномов соответствующей степени. В исследовании [3] регрессионная модель удельного расхода топлива представлена в виде полинома 3-ей степени в функции режимных параметров – эффективного давления p_e и числа оборотов n .

Дальнейшее построение математической модели проводилось среди полиномов соответствующей степени. Как показали расчеты, модель в виде полинома второй степени имеет высокие показатели адекватности.

Воспользовавшись встроенным в MS Excel пакетом анализа, получена следующая регрессионная модель:

$$g_e = 450,9772714 - 0,015532953n + 0,0000170545n^2 - 40,1645538p_e - 0,002058206np_e + 1,790825133p_e^2 \quad (1)$$

При этом коэффициент детерминации равен $R^2 = 0,909$, и так как $R^2 > 0,85$, можно сделать заключение о том, что модель адекватна. Достоверность уровня значимости по Фишеру (значимость $F =$

$6,57 \cdot 10^{-167}$) значительно меньше 0,05, на основании чего делаем вывод: модель статистически значима. Далее выполнен более подробный расчет и рассчитан критерий Фишера. При этом коэффициент множественной смешанной корреляции равен 0,954573.

Выполнено построение графика полученной модели (рисунок 3).

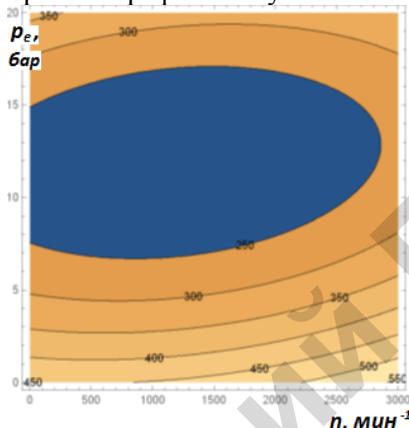


Рисунок 3 – Контурный график полинома второй степени

Графическое построение свидетельствуют о том, что с позиции обеспечения минимальных значений удельного эффективного расхода топлива и максимальных значений среднего эффективного давления целесообразно эксплуатировать рассматриваемый дизель с оборотами коленчатого вала в пределах 1150-1900 мин⁻¹. Оптимальной же областью по оборотам коленчатого вала следует считать 1400-1750 мин⁻¹, когда достигается работа с расходом топлива ниже 220 г/кВт·ч и значением среднего эффективного давления выше 12 бар.

В результате проведенного исследования по определению оптимальных режимов работы двигателя Deutz BF06M1013FC установлено, что кривые удельного эффективного расхода топлива могут быть адекватно описаны с помощью регрессионной модели второй степени в функции эффективного давления и частоты вращения коленчатого вала ДВС, что представляет собой важный результат. Полученная модель второго порядка является существенным преимуществом, т.к. в ряде работ схожей направленности использованы уравнения третьей степени.

Используя представленную регрессионную модель удельного эффективного расхода топлива, становится возможным посредст-

вом электронного блока управления, который вырабатывает управляющие сигналы, корректировать работу системы питания (дозирование подачи топлива) для перевода двигателя в наиболее экономичный режим. При этом проблема обоснования оптимальных режимов работы актуальна как для рассматриваемого двигателя, так и других автотракторных ДВС.

Приведенная последовательность определения удельного эффективного расхода топлива при различных режимах работы автотракторных ДВС с помощью расширенных многопараметровых характеристик, позволяет добиться показателей работы ДВС, соответствующих минимальному удельному расходу топлива и выполнить согласование с автоматическими трансмиссиями, которые повсеместно внедряются в конструкции современных мобильных сельскохозяйственных машин.

Список использованной литературы

1. Якубович, А.И. Экономия топлива на тракторах: монография / А.И. Якубович, Г.М. Кухаренок, В.Е. Тарасенко. – Минск: БНТУ, 2009. – 229 с.
2. Якубович, А.И. Направления экономии топлива при эксплуатации трактора / А.И. Якубович, В.Е. Тарасенко // Механика машин, механизмов и материалов. – 2008. – № 1(2). – С. 38–41.
3. Durković, R. Regression models of specific fuel consumption curves and characteristics of economic operation of internal combustion engines / R. Durković, M. Damjanović // Mechanical Engineering. – 2006. – Vol. 4, № 1. – pp. 17–26.
4. Кухаренок, Г.М. Теория рабочих процессов двигателей внутреннего сгорания. Лабораторный практикум / Г.М. Кухаренок, А.Н. Петрученко, И.К. Русецкий. – Минск: БНТУ, 2005. – 55 с.
5. Крутов, В.И. Двигатель внутреннего сгорания как регулируемый объект / В.И. Крутов. – М.: Машиностроение, 1978. – 472 с.
6. Грехов, Л.В. Топливная аппаратура и системы управления дизелей: Учебник для вузов / Л.В. Грехов, Н.А. Иващенко, В.А. Марков. – М.: Легион-Автодата, 2004. – 344 с.
7. Шумовский, В.А. Улучшение показателей транспортного дизеля путем совершенствования процессов распыливания топлива и смесеобразования: дис. ... канд. техн. наук: 05.04.02 / В.А. Шумовский. – Москва, 2016. – 165 с.
8. Durković R.: Matematical models of tractor driving system and

traction efficiency / R. Durković, M. Damjanović // European Automotive Congress – EAEC 2005, Technical sessions powertrain, Beograd, 2005. – pp. 1–12.

Abstract. The article presents the estimation of the economical efficiency of the diesel engine Deutz BF06M1013FC of the tractor "BELARUS-3022DTS" and the choice of the optimal modes of its operation by constructing a universal multi-parameter characteristic. It is noted that the specific effective fuel consumption curves can be adequately described using the second-degree regression model as a function of the effective pressure and engine speed of the diesel crankshaft.

УДК 631.362 : 621.928.

Барановский И.В.¹, кандидат технических наук;
Колоско Д.Н.², кандидат технических наук, доцент;
Жилич Е.Л.¹, научный сотрудник;
Грищенко Д.Н.², магистрант

¹РУП «НПЦ НАН Беларуси по механизации сельского хозяйства», г. Минск, Республика Беларусь,

²УО «Белорусский государственный аграрный технический университет», г. Минск, Республика Беларусь

СОБЛЮДЕНИЕ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ И ЭКОЛОГИЧЕСКИХ ТРЕБОВАНИЙ К МАШИНАМ ВТОРИЧНОЙ ОЧИСТКИ ЗЕРНА И СЕМЯН

Аннотация. В данной статье рассмотрены основные технологические и экологические требования при выполнении послеуборочной обработки на примере машины вторичной очистки зерна и семян МВО-12.

Разработка и производство отечественными предприятиями техники для послеуборочной обработки, хранения зерна и семян является важной задачей продовольственной безопасности страны с учетом поставленной перед сельскохозяйственными предприятиями республики увеличения валовых сборов зерна до 15 млн.т в амбарном весе. Даже