

## ОПРЕДЕЛЕНИЕ ЦЕЛЕВОЙ ФУНКЦИИ ОПТИМИЗАЦИИ ЭФФЕКТИВНЫХ ПОКАЗАТЕЛЕЙ ТРАКТОРНОГО ДИЗЕЛЯ ПРИ РАБОТЕ НА СМЕСЕВОМ ТОПЛИВЕ

Ш. В. БУЗИКОВ, канд. техн. наук, доцент  
С. А. ПЛОТНИКОВ, д-р техн. наук, профессор

Вятский государственный университет,  
Киров, Российская Федерация

**Введение.** Работа тракторного дизеля при использовании смесового топлива на различных нагрузочных и скоростных режимах, как правило, характеризуется сопровождением изменения значений эффективной мощности [1, 6, 9, 10].

В свою очередь такой эффективный показатель можно рассмотреть, как функцию двух аргументов. Этими двумя аргументами здесь являются значения среднего эффективного давления и частоты вращения коленчатого вала тракторного дизеля.

В зависимости от скоростного режима работы тракторного дизеля среднее эффективное давление не может изменяться от минимального до максимального возможных своих значений [2–5, 13].

Данное обстоятельство объясняется, во-первых, конструктивно-технологическими особенностями самого тракторного дизеля, а, во-вторых, характеристикой работы всережимного регулятора частоты вращения коленчатого вала тракторного дизеля топливного насоса высокого давления. Так как всережимный регулятор частоты вращения коленчатого вала на разных скоростных режимах работы обеспечивает разные значения максимальной цикловой подачи, тем самым определяя максимальное значение среднего эффективного давления. Таким образом, в зависимости от частоты вращения коленчатого вала тракторного дизеля можно определить функцию ограничения значений среднего эффективного давления.

В связи с этим возникает проблема определения целевой функции оптимизации эффективных показателей тракторного дизеля при работе на смесовом топливе.

Для решения данной проблемы необходимо определить саму целевую функцию эффективных показателей, а затем граничные условия.

В связи с этим целью работы является определение целевой функции оптимизации эффективных показателей тракторного дизеля при работе на смесовом топливе. Научная новизна заключается в определении оптимальной функциональной зависимости эффективных показателей тракторного дизеля при работе на смесовом топливе.

**Основная часть.** Так как значение среднего эффективного давления  $p_{\varepsilon}$  во многом определяется цикловой подачей смесевого топлива  $q_{ц}$ , поэтому введение ограничений на значение  $p_{\varepsilon}$  сводится к характеристике всережимного регулятора частоты вращения коленчатого вала топливного насоса высокого давления и ее можно представить как кусочно-заданную функцию в виде полинома-сплайна 2 порядка.

Рассмотрим систему функций:

$$\begin{cases} p_{мп} = f_{мп}(n) \\ p_{мп} \leq p_{\varepsilon} \leq f_{\varepsilon}(n) \end{cases} \quad (1)$$

где  $p_{мп}$  – давление механических потерь, МПа;

$f_{мп}(n)$  – функция давления механических потерь от частоты вращения коленчатого вала, МПа;

$n$  – частота вращения коленчатого вала, мин<sup>-1</sup>;

$f_{\varepsilon}(n)$  – функция среднего эффективного давления от частоты вращения коленчатого вала, МПа.

Отсюда видно, что равенство как и неравенство выражается через одну переменную  $n$ . Данная система (1) является определенной на отрезке  $[n_{zx}^{min}, n_{zx}^{max}]$  с узлами  $n \in [n_{zx}^{min} \leq n_{ндк} < n_{кдк} < n_{ндр} \leq n_{zx}^{max}]$ , т.к. на каждом из отрезков  $[n_{zx}^{min}, n_{ндк}]$ ,  $[n_{ндк}, n_{кдк}]$ ,  $[n_{кдк}, n_{ндр}]$  и  $[n_{ндр}, n_{zx}^{max}]$ ,  $f(n)$  можно выразить алгебраическим полиномом 2-й степени, тогда каждая из точек  $n_{ндк}$ ,  $n_{кдк}$ ,  $n_{ндр}$  является узлами сплайна [8]. В общем виде кусочно-заданную систему функций можно представить в следующем виде:

$$\begin{cases} p_{мп} = a_{мп}n^2 + b_{мп}n + c_{мп}, & n_{zx}^{min} \leq n \leq n_{zx}^{max} \\ p_{мп} \leq p_{\varepsilon}(n) \leq a_i n^2 + b_i n + c_i, & n_{zx}^{min} < n < n_{ндк}, \quad i = 1 \\ & n_{ндк} < n < n_{кдк}, \quad i = 2, \\ & n_{кдк} < n < n_{ндр}, \quad i = 3 \\ & n_{ндр} < n < n_{zx}^{max}, \quad i = 4 \end{cases} \quad (2)$$

где  $n_{zx}^{min}$ ,  $n_{zx}^{max}$  – минимальная и максимальная частота холостого хода тракторного дизеля, мин<sup>-1</sup>;

$n_{ндк}$ ,  $n_{кдк}$ ,  $n_{ндр}$  – частота вращения коленчатого вала тракторного дизеля, соответствующая началу и концу действия корректора, а также началу действия регулятора, соответственно, мин<sup>-1</sup>;

$i$  – текущий номер режима работы тракторного дизеля;

$a_{мп}$ ,  $b_{мп}$ ,  $c_{мп}$ ,  $a_i$ ,  $b_i$ ,  $c_i$  – коэффициенты в полиномах 2-й степени.

Система функций (2) определяет границы области нагрузочных и скоростных режимов работы тракторного дизеля, установленные заводом-изготовителем.

Тогда с учетом выражений (1) и (2) в общем виде систему уравнений, определяющую границы области значений эффективной мощности  $N_{\varepsilon}$  в зависимости только лишь от одной переменной  $n$  можно представить:

$$\left\{ \begin{array}{l} N_{\text{мп}} = \frac{V_n}{30\tau} = (a_{\text{мп}} n^2 + b_{\text{мп}} n + c_{\text{мп}}) n, \quad n_{\text{zx}}^{\text{min}} \leq n \leq n_{\text{zx}}^{\text{max}} \\ N_{\text{мп}} \leq N_{\varepsilon} \leq \frac{V_n}{30\tau} (a_i n^2 + b_i n + c_i) n, \quad n_{\text{zx}}^{\text{min}} < n < n_{\text{ндк}}, \quad i = 1 \\ \quad \quad \quad \quad \quad \quad \quad \quad \quad \quad \quad \quad \quad \quad \quad n_{\text{ндк}} < n < n_{\text{кдк}}, \quad i = 2 \\ \quad \quad \quad \quad \quad \quad \quad \quad \quad \quad \quad \quad \quad \quad \quad n_{\text{кдк}} < n < n_{\text{ндр}}, \quad i = 3 \\ \quad \quad \quad \quad \quad \quad \quad \quad \quad \quad \quad \quad \quad \quad \quad n_{\text{ндр}} < n < n_{\text{zx}}^{\text{max}}, \quad i = 4 \end{array} \right. \quad (3)$$

Выражение (3) определяет область режимов работы тракторного дизеля, установленного заводом-изготовителем, зависящее от конструктивно-технологических параметров самого тракторного дизеля и характеристик топливоподачи топливного насоса высокого давления. В связи с этим, очень важно, изменяя какие-либо показатели тракторного дизеля, обеспечить соблюдение его режимов работы, ограниченные описанной областью значений, согласно выражения (2), графически это определяется усеченной поверхностью (рисунок).

Под эффективными показателями тракторного дизеля следует понимать две основные группы показателей – индикаторные и механические потери [11].

Каждую подгруппу показателей можно представить, как сложную целевую функцию с двумя общими аргументами. Таким образом, для индикаторных показателей:

$$P_i = f\{N_i(p_i, n), \eta_i(p_i, n), g_i(p_i, n)\}, \quad (4)$$

где  $P_i$  – целевая функция индикаторных показателей;

$N_i(p_i, n)$  – функция индикаторной мощности;

$\eta_i(p_i, n)$  – функция индикаторного КПД;

$g_i(p_i, n)$  – функция индикаторного удельного расхода смесового топлива;

$p_i$  – среднее индикаторное давление, МПа.

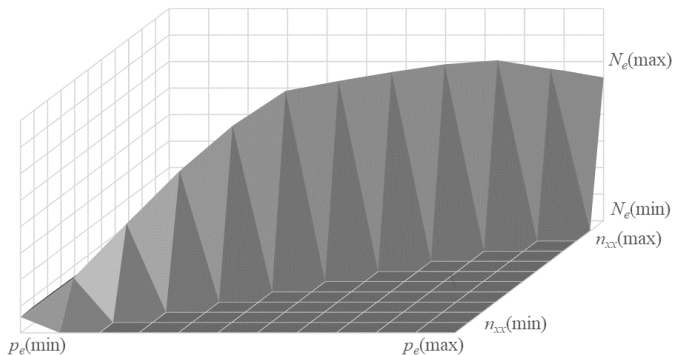


Рис. 1. Область режимов работы тракторного дизеля

Для показателей механических потерь:

$$P_{\text{мп}} = f\{N_{\text{мп}}(p_i, n), \eta_{\text{м}}(p_i, n)\}, \quad (5)$$

где  $P_{\text{мп}}$  – целевая функция показателей механических потерь.

Рассмотрим целевую функцию индикаторных показателей. Функция индикаторной мощности:

$$N_i = \frac{V_a}{30\tau} p_i n. \quad (6)$$

Функция индикаторного КПД:

$$\eta_i = \frac{1}{H_u} p_i \frac{G_B}{G_T \rho_k \eta_v}, \quad (7)$$

где  $\frac{1}{H_u}$  – удельная тепловая масса смешанного топлива, кг/МДж [12];

$\frac{G_B}{G_T \rho_k \eta_v}$  – удельный объем рабочей смеси, состоящей из свежего заряда (воздуха), отработавших газов и смешанного топлива, м<sup>3</sup>/кг топл.;

$H_u$  – низшая расчетная удельная теплота сгорания смешанного топлива, МДж/кг;

$G_B$  – массовый часовой расход воздуха, кг/ч;

$G_T$  – массовый часовой расход смешанного топлива, кг/ч;

$\rho_k$  – плотность свежего заряда на впуске, кг/м<sup>3</sup>;

$\eta_v$  – коэффициент наполнения цилиндров тракторного дизеля.

В последнем выражении (7) произвели замену [7]:  $\eta_V = \frac{33,3 G_n}{V_n n \rho_k}$  и преобразовали, тогда удельный объем рабочей смеси, определялся как  $\frac{V_n n}{33,3 G_T}$ .

Тогда окончательно выражение (7) приняло вид:

$$\eta_i = \frac{V_n}{33,3 H_u G_T(p_i, n)} p_i n. \quad (8)$$

Проведя аналогичные преобразования, получено:

$$g_i = \frac{1,2 \cdot 10^5 G_T(p_i, n)}{V_n} \frac{1}{p_i n}. \quad (9)$$

Тогда общая целевая функция индикаторных показателей с учетом выражений (6), (8) и (9):

$$P_i = f \left\{ \frac{V_n}{30\tau} p_i n, \frac{V_n}{33,3 H_u G_T(p_i, n)} p_i n, \frac{1,2 \cdot 10^5 G_T(p_i, n)}{V_n} \frac{1}{p_i n} \right\}. \quad (10)$$

Целевая функция для показателей механических потерь. Мощность механических потерь:

$$N_{мп} = \frac{V_n}{30\tau} p_{мп} n. \quad (11)$$

Механический КПД:

$$\eta_M = \frac{P_E}{P_i} = 1 - \frac{P_{мп}}{P_i}. \quad (12)$$

С учетом выражений (11) и (12) в конечном виде:

$$P_{мп} = f \left\{ \frac{V_n}{30\tau} p_{мп} n, 1 - \frac{P_{мп}}{P_i} \right\}. \quad (13)$$

Исходя из условия  $P_E = P_i - P_{мп}$  и анализа целевых функций (10) и (13) следует что, можно сформировать такую единую целевую функцию эффективных показателей, которая будет заменять в себе две, исключив из нее коррелирующие подфункции. Тогда общее выражение целевой функции эффективных показателей приняло следующий вид:

$$P_E = f \left\{ p_i n, \frac{V_n}{33,3 H_u} p_i n, \frac{1,2 \cdot 10^5}{V_n} \frac{1}{p_i n}, p_{мп} n, 1 - \frac{P_{мп}}{P_i} \right\}. \quad (14)$$

Используя выражение (14) можно проводить поиск любых оптимальных решений, задавая определенными условиями.

**Заключение.** В результате проведенных исследований была определена целевая функции оптимизации эффективных показателей тракторного дизеля при работе на смесевом топливе.

## ЛИТЕРАТУРА

1. Альтернативные виды топлива для двигателей / А. Н. Карташевич [и др.]. – Горки: БГСХА, 2013. – 376 с.
2. Бузиков, Ш. В. Анализ концепций исследования применения альтернативных топлив в дизелях / Ш. В. Бузиков, С. А. Плотников // Транспорт на альтернативном топливе. – 2022. – № 1 (85). – С. 66–70.
3. Бузиков, Ш. В. Обоснование методов определения эффективности применения альтернативных топлив в автотракторных дизелях / Ш. В. Бузиков, С. А. Плотников // Известия МГТУ «МАМИ». – 2021. – Т. 15, № 4. – С. 2–8.
4. Бузиков, Ш. В. Определение предельной концентрации рапсового масла в смесевом топливе применяемое в дизеле / Ш. В. Бузиков, С. А. Плотников, И. С. Козлов // Вестник транспорта Поволжья. – 2021. – № 1 (85). – С. 72–79.
5. Бузиков, Ш. В. Определение эффективности применения смесового топлива в тракторных дизелях / Ш. В. Бузиков // Вестник транспорта Поволжья. – 2021. – № 5 (89). – С. 57–62.
6. Бузиков, Ш. В. Определение эффективности рабочего процесса тракторного дизеля при работе на альтернативных топливах / Ш. В. Бузиков, С. А. Плотников // Инновационные решения в технологиях и механизации сельскохозяйственного производства. – Горки: БГСХА. – Вып. 7. – С. 171–175.
7. ГОСТ 18509-88. Дизели тракторные и комбайновые. Методы стендовых испытаний (с изменением N 1).
8. Гусак, А. А. Справочник по высшей математике / А. А. Гусак, Г. М. Гусак, Е. А. Бричкова. – Минск: ТетраСистемс, 2009. – 638 с.
9. Карташевич, А. Н. Использование смесевых топлив на основе рапсового масла для сельскохозяйственных тракторов / А. Н. Карташевич, В. С. Товстыка. – Горки: БГСХА, 2012. – 210 с.
10. Карташевич, А. Н. Оптимизация эффективных показателей тракторного дизеля при работе на смесевом топливе / А. Н. Карташевич, Ш. В. Бузиков, С. А. Плотников // Вестник БГСХА. – 2022. – № 4. – С. 163–167.
11. Колчин, А. И. Расчет автомобильных и тракторных двигателей / А. И. Колчин, В. П. Демидов. – Москва: Высшая школа, 2008. – 496 с.
12. Long, L. Investigation of future low-carbon and zero-carbon fuels for marine engines from the view of thermal efficiency / L. Long, T. Yuanheng, L. Dai // Energy Reports. – 2022. – Vol 8. – P. 6150–6160.
13. Plotnikov, S. Environmental Properties Evaluation of Spark-Ignition Engines Running on Water/Fuel Mix / S. Plotnikov, S. Buzikov, A. Birukov // Lecture Notes in Mechanical Engineering. – 2022. – P. 451–460.

*Аннотация.* Целью работы является определение целевой функции оптимизации эффективных показателей тракторного дизеля при работе на смесевом топливе. Научная новизна заключается в определении оптимальной функциональной зависимости эффективных показателей тракторного дизеля при работе на смесевом топливе. Для достижения поставленной цели необходимо решить нескольких задач: определить саму целевую функцию эффективных показателей; определить граничные условия.

*Ключевые слова:* целевая функция, эффективные показатели, показатели механических потерь, смесевое топливо.