

# РАСЧЕТ ПОКАЗАТЕЛЕЙ КОРРЕКТОРНОГО УЧАСТКА СКОРОСТНОЙ ХАРАКТЕРИСТИКИ ТРАКТОРНОГО ДВИГАТЕЛЯ

## CALCULATION OF THE PARAMETERS OF THE CORRECTOR SECTION OF THE SPEED CHARACTERISTICS TRACTOR ENGINE

**В.А. САМСОНОВ**<sup>1</sup>, д.т.н.  
**Ю.Ф. ЛАЧУГА**<sup>2</sup>, д.т.н., академик РАН

<sup>1</sup> Редакция журнала «Механизация и электрификация сельского хозяйства», Москва, Россия

<sup>2</sup> Отделение сельскохозяйственных наук РАН, Москва, Россия, mehelagro@mail.ru

**V.A. SAMSONOV**<sup>1</sup>, DSc in Engineering  
**YU.F. LACHUGA**<sup>2</sup>, Academician of the Russian Academy of Sciences

<sup>1</sup> Autonomous non-commercial organization «Editorial Board of the journal «Mechanization and electrification of agriculture», Moscow, Russia

<sup>2</sup> Russian Academy of Sciences (RAS), Moscow, Russia, mehelagro@mail.ru

Одним из основных показателей корректорного участка скоростной характеристики тракторного двигателя служит его коэффициент приспособляемости по крутящему моменту. В статье изложен метод общего решения задачи по расчету этого коэффициента. Метод заключается в минимизации разности двух функций (критерия оптимальности): первая – зависимость знаменателя геометрического ряда передач от коэффициента приспособляемости, вторая – зависимость знаменателя от силового диапазона трактора, то есть от отношения касательной силы тяги на последней передаче к такой же силе на первой передаче. С учетом найденного коэффициента приспособляемости по моменту определены частота вращения вала двигателя при максимальном моменте, коэффициент приспособляемости двигателя по частоте вращения вала, тяговый и скоростной диапазоны, теоретическая скорость на последней передаче. Частота вращения вала при максимальном моменте определена из условия, что коэффициент загрузки двигателя по мощности при максимальном моменте равен 0,85. Силовой диапазон определен по результатам минимизации критерия оптимальности, скоростной диапазон равен силовому. Скорость трактора на последней передаче определена с учетом заданной скорости на первой передаче и найденного скоростного диапазона. Общепринятый диапазон минимальных значений коэффициента приспособляемости, исходя из временного увеличения тягового сопротивления, составляет 1,15...1,20. В некоторых современных тракторных двигателях этот коэффициент больше 1,2. Целью статьи является оптимизация интервала значений коэффициента приспособляемости больше 1,2. Объект исследования – двигатель колесного трактора тягового класса 3. Исходный материал: номинальное тяговое усилие и масса трактора, его тяговый диапазон, интервал теоретической скорости на первой передаче. Методы исследования нелинейное программирование с использованием минимизации выпуклой функции; аппроксимация линейной функцией зависимости крутящего момента от текущей частоты вращения вала. Основной вывод: с учетом принятых критерия оптимальности, ограничений и коэффициента вариации момента сопротивления оптимальный коэффициент приспособляемости по крутящему моменту тракторных двигателей находится в интервале 1,27...1,45.

**Ключевые слова:** двигатель колесного трактора, корректорный участок скоростной характеристики тракторного двигателя, коэффициент приспособляемости по крутящему моменту.

One of the main indicators of the corrector section of the high-speed characteristics of the tractor engine is its torque adaptability factor. The article describes the method of General solution of the problem of calculation of this coefficient. The method is to minimize the difference between the two functions (optimality criterion): the first – the dependence of the denominator of the geometric series of gears on the coefficient of adaptability, the second – the dependence of the denominator on the tractor power range, that is, the ratio of the tangential thrust force in the last gear to the same force in the first gear. Taking into account the found coefficient of adaptability by the moment, the rotation frequency of the motor shaft at the maximum torque, the coefficient of adaptability of the engine by the shaft speed, the traction and speed ranges, the theoretical speed in the last gear are determined. The speed of the shaft at the maximum torque is determined from the condition that the engine load factor by power at the maximum torque is equal to 0,85. The power range is determined by the results of minimization of the optimality criterion, the speed range is equal to C-low. The speed of the tractor in the last gear is determined taking into account the given speed in the first gear and the found speed range. The generally accepted range of minimum values of the coefficient of adaptability, based on the time increase in traction resistance, is 1,15...1,20. In some modern tractor engines, this co-efficiency is greater than 1,2. The aim of the article is to optimize the interval of adaptability coefficient values greater than 1,2. The object of study – the engine of a wheeled tractor traction class 3. The initial material – nominal traction and weight of the tractor, its traction range, the interval of theoretical speed in first gear. Research methods – nel programming using the minimization of the convex function; approximation of the linear function of the torque dependence on the current speed of the shaft. The main conclusion: given the accepted criterion of optimality, constraints, and the coefficient of variation moment of resistance of the optimum the coefficient of adaptability at the twisting mo-moment of tractor engines comply with the interval of 1,27 to 1,45.

**Keywords:** wheeled tractor engine, correcting section of the speed characteristic of the tractor engine, torque adaptability coefficient.

## Введение

К основным показателям корректорного участка скоростной характеристики тракторного двигателя отнесем следующие:  $k_m$  – коэффициент приспособляемости двигателя по крутящему моменту;  $k_n$  – коэффициент приспособляемости двигателя по частоте вращения вала;  $n_m$  – частота,  $\text{мин}^{-1}$ , вращения вала при максимальном крутящем моменте  $M_{\text{max}}$ , Н·м;  $\varepsilon_m$  – коэффициент загрузки двигателя по крутящему моменту;  $\varepsilon_N$  – коэффициент загрузки двигателя по мощности.

Коэффициенты [1, 2]

$$k_m = M_{\text{max}} / M_n; k_n = n_n / n_m,$$

где  $M_n$  и  $n_n$  – номинальные крутящий момент, Н·м, и частота вращения вала двигателя,  $\text{мин}^{-1}$ .

Общепринятым считается интервал минимальных значений  $k_m = 1,15 \dots 1,20$  [1], который определяется уровнем колебания тягового сопротивления рабочей машины. Некоторые современные тракторные двигатели имеют  $k_m > 1,2$ . Чем выше  $k_m$ , тем устойчивее работа двигателя. Высокий  $k_m$  позволяет преодолевать временное увеличение тягового сопротивления без переключения на пониженную передачу.

Таким образом, расчет оптимального интервала  $1,2 < k_m \leq k_{\text{mmax}}$  ( $k_{\text{mmax}}$  – максимальное значение) значений коэффициента приспособляемости по крутящему моменту и перечисленных показателей корректорного участка скоростной характеристики двигателя – актуальная задача теории трактора. Авторы предлагают один из способов ее общего решения.

## Цель исследования

С использованием имеющихся в теории трактора зависимостей определить критерий оптимальности и обосновать интервал  $1,2 < k_m \leq k_{\text{mmax}}$ , рассчитать указанные основные показатели корректорного участка скоростной характеристики двигателя и соответствующие им показатели трактора.

## Объекты и методы исследования

Двигатель колесного трактора 4К4 тягового класса 3.

Исходный материал: номинальное тяговое усилие и масса трактора, его тяговый диапазон, интервал теоретической скорости на первой передаче.

Для исследования применяются методы: нелинейное программирование с использова-

нием минимизации выпуклой безразмерной функции; аппроксимация линейной функцией зависимости крутящего момента от текущей частоты вращения вала.

## Результаты и обсуждение

Исходные данные для расчета:  $P_{\text{кр1}} = 36\,000$  Н – номинальное тяговое усилие;  $\varphi_{\text{кр}} = 0,45$  – коэффициент использования силы тяжести трактора на создание тягового усилия [1];  $m = P_{\text{кр1}} / g\varphi_{\text{кр}} = 8155$  кг – эксплуатационная масса трактора, кг;  $f = 0,12$  – коэффициент сопротивления качению трактора на стерне [1, 2].

### Расчет $k_m$ (общее решение задачи)

Коэффициент  $k_m$  связан со знаменателем геометрического ряда передач  $q$  условием согласованности работы двигателя и трансмиссии [1]:

$$q \geq 1/k_m, \quad (1)$$

откуда

$$k_m \geq 1/q. \quad (2)$$

Для знаменателя  $q$  справедливы зависимости [1, 2]:

$$q = n^{-1} \sqrt{\delta_v}; \quad (3)$$

$$q = n^{-1} \sqrt{\delta_p}, \quad (4)$$

где  $n$  – количество рабочих передач;  $\delta_v = v_{\text{т1}} / v_{\text{тn}}$  – скоростной диапазон трактора: отношение теоретической скорости  $v_{\text{т1}}$  на первой передаче к теоретической скорости  $v_{\text{тn}}$  на последней передаче;  $\delta_p = P_{\text{км}} / P_{\text{к1}}$  – силовой диапазон трактора: отношение касательной силы тяги  $P_{\text{км}}$  на последней передаче к касательной силе тяги  $P_{\text{к1}}$  на первой передаче.

Из (1) и (4) получим

$$1/k_m = n^{-1} \sqrt{\delta_p}. \quad (5)$$

Из (3) и (4) найдем

$$\delta_p = \delta_v = v_{\text{т1}} / v_{\text{тn}}, \quad (6)$$

откуда

$$v_{\text{тn}} = v_{\text{т1}} / \delta_p. \quad (7)$$

Равенства (5) и (6) отражают условие согласованности работы двигателя и трансмиссии по силовому и скоростному диапазонам, которым соответствует оптимальное значение  $k_m$ . С учетом найденного из формулы (5)  $\delta_p$  по формуле (7) при заданной на первой передаче скорости  $v_{\text{т1}}$  определяем скорость  $v_{\text{тn}}$  на последней передаче.

Для определения границ интервала значений  $k_m$  используем равенство (5), в котором левую часть обозначим  $q_1$ , правую –  $q_2$ . В идеальном случае  $q_1 = q_2$ .

Из этого равенства получим критерий оптимальности для расчета  $k_m$  – выпуклую безразмерную функцию, минимум которой стремится к нулю [3]:

$$F = |q_1 / q_2 - 1| \rightarrow \min.$$

Минимум  $F$  – это уровень несогласованности работы двигателя и трансмиссии по силовому и скоростному диапазонам.

Из (2) и (4) получим

$$k_m \geq \frac{1}{n \sqrt[n]{\delta_p}}. \quad (8)$$

Из неравенства (8) следует: чем меньше  $n$ , тем больше должен быть  $k_m$ . С учетом того, что  $n > 1$ , принимаем допущение: коэффициент  $k_m$  определяется номером условной передачи из интервала  $n = (2 - x_1) \dots (3 + x_2)$ , где  $x_1$  и  $x_2$  – числа, определяемые при минимизации  $F$ . Номер  $n = (3 + x_2)$  определяет нижнее значение  $k_m$  в интервале, а номер  $n = (2 - x_1)$  – верхнее значение.

В формуле (4) сила  $P_{км}$  зависит от тягового диапазона трактора  $\delta_T$ :

$$P_{км} = P_{крм} + mgf = P_{кр1} / \delta_T + mgf,$$

где  $P_{крм}$  – минимальное тяговое усилие (на последней передаче).

Функцию  $F$  минимизируем методом дихотомии по переменной  $k_m$ , варьируемой в интервале 1,2...1,5 для каждого изменяемого в цикле значения  $n$ .

Алгоритм расчета (в программе задаем  $k_m, P_{кр1}, m, f, \delta_T, n$ ):  $q_1 = 1 / k_m; P_{к1} = P_{кр1} + mgf; P_{крм} = P_{кр1} / \delta_T; P_{км} = P_{крм} + mgf; \delta_p = P_{км} / P_{к1}; q_2 = \delta_p^{1/(n-1)}; v_{тн} = v_{т1} / \delta_p; F$ .

При расчете учтем ограничения по теоретической скорости, км/ч [1]:

– на первой передаче –

$$8 \leq v_{т1} \leq 10; \quad (9)$$

– на последней передаче –

$$15 \leq v_{тn} \leq 17. \quad (10)$$

Максимальный интервал изменения скоростного диапазона составляет

$$8/17 \leq \delta_v \leq 10/15, \text{ или } 0,470 \leq \delta_v \leq 0,666. \quad (11)$$

Учтем также ограничение по тяговому диапазону трактора [2]

$$1,6 \leq \delta_T \leq 1,8. \quad (12)$$

Фрагмент расчета функции  $k_m(n)$  при  $\delta_T = 1,8$  с шагом  $\Delta n = 0,05$  представлен в табл. 1. Верхней границей интервала принимаем  $k_m = 1,481$ , так как далее  $F$  резко возрастает.

По аналогии определим границы интервала при разных значениях  $\delta_T$  и  $v_{т1}$ , а также соответствующие им значения  $v_{тn}$  и  $P_{крм}$ . Результаты расчета приведены в табл. 2. Из найденных значений нижних и верхних границ  $k_m$  получим интервал оптимальных значений коэффициента приспособляемости двигателя по крутящему моменту при условии согласованности работы двигателя и трансмиссии по силовому и скоростному диапазонам:

$$1,20 \leq k_m \leq 1,48. \quad (13)$$

Некоторые современные двигатели имеют значения  $k_m$  в интервале (13): Д-260.14С2 (Минский моторный завод) –  $k_m = 1,3$ ; ЯМЗ-8501.10 (Ярославский моторный завод) –  $k_m = 1,3$ ; Д-3061-02 (ОАО «Алтайдизель») –  $k_m = 1,4$  [4–6].

При всех  $k_m$  из неравенства (13) возможны следующие варианты показателей двигателя и трактора:

- первый:  $v_{т1} = 10$  км/ч – указанные ограничения (9)–(12) выполняются при  $\delta_T = 1,7...1,8$ ;
- второй:  $v_{т1} = 9$  км/ч и  $v_{т1} = 8$  км/ч – выполняются только ограничения (9), (11), (12);
- третий:  $\delta_T = 1,6$  – выполняются только ограничения (1) и (12).

Первый вариант – наилучший, так как отвечает всем ограничениям. Но на практике возможны все три варианта. Выбор определяют требования заказчика на проектируемый трактор

Таблица 1

Функция  $k_m(n)$  при  $\delta_T = 1,8$

$n$	3,50	3,35	2,60	2,40	2,15	2,05
$k_m$	1,200	1,202	1,310	1,362	1,481	1,500
$F \cdot 10^{-5}$	233,56	2,94	1,05	2,38	1,58	616,65

Таблица 2

Функции  $n(\delta_r)$ ,  $k_m(\delta_r)$ ,  $\delta_p(\delta_r)$ ,  $v_{тр}(\delta_r)$ ,  $P_{крм}(\delta_r)$

$\delta_r$	Нижняя граница, $k_m$	Верхняя граница, $k_m$	$\delta_p = \delta_v$	$v_{тр}$ , км/ч	$P_{крм}$ , кН
$v_{тр} = 10$ км/ч					
1,80	1,202 ( $n = 3,35$ )	1,481 ( $n = 2,15$ )	0,636	15,71	20,00
1,70	1,201 ( $n = 3,15$ )	1,482 ( $n = 2,00$ )	0,663	15,08	21,17
1,6	1,203 ( $n = 2,90$ )	1,477 ( $n = 1,90$ )	0,693	14,42	22,50
$v_{тр} = 9$ км/ч					
1,80	1,202 ( $n = 3,35$ )	1,481 ( $n = 2,15$ )	0,636	14,14	20,00
1,70	1,201 ( $n = 3,15$ )	1,482 ( $n = 2,00$ )	0,663	13,57	21,17
1,6	1,203 ( $n = 2,90$ )	1,477 ( $n = 1,90$ )	0,693	12,98	22,50
$v_{тр} = 8$ км/ч					
1,80	1,202 ( $n = 3,35$ )	1,481 ( $n = 2,15$ )	0,636	12,57	20,00
1,70	1,201 ( $n = 3,15$ )	1,482 ( $n = 2,00$ )	0,663	12,06	21,17
1,6	1,203 ( $n = 2,90$ )	1,477 ( $n = 1,90$ )	0,693	11,54	22,50

тор. Во всех вариантах трактор может работать с тяговым усилием  $P_{крм} = 20,0...22,5$  кН в тяговом классе 2.

**Расчет  $k_m$  в зависимости от коэффициента вариации момента сопротивления на валу двигателя**

При значительном количестве колебаний нагрузки момент сопротивления на валу двигателя подчиняется закону нормального распределения с коэффициентом вариации  $\lambda_m$  [7]. В этом случае максимальный момент можно записать как

$$M_m = M_n(1 + 3\lambda_m),$$

или

$$k_m = (1 + 3\lambda_m). \tag{14}$$

Максимальные средние значения  $\lambda_m$  [7]: при вспашке сухих легких почв или средних почв нормальной влажности – 0,09; при вспашке сухих тяжелых почв – 0,15; при культивации лапчатым культиватором – 0,1. Из (14) найдем границы интервала:  $k_m = (1 + 3 \cdot 0,09)...(1 + 3 \cdot 0,15) = 1,27...1,45$ , то есть этот интервал входит в диапазон (13).

Таким образом, условию согласованности работы двигателя и трансмиссии по силовому и скоростному диапазонам с учетом коэффициента вариации момента сопротивления соответствует интервал

$$1,27 \leq k_m \leq 1,45. \tag{15}$$

**Расчет  $n_m, k_n, \epsilon_m, \epsilon_N$**

Для расчета принимаем  $N_n = 180\ 000$  Вт;  $n_n = 2100$  мин<sup>-1</sup>. Коэффициенты загрузки двигателя по мощности и моменту

$$\epsilon_N = N_c/N_n = M_c n_c / M_n n_n; \tag{16}$$

$$\epsilon_m = M_c/M_n, \tag{17}$$

где  $N_c, M_c, n_c$  – текущие значения мощности, Вт, момента, Н·м, и частоты вращения вала, мин<sup>-1</sup>.

Из сравнения (16) и (17) следует, что

$$\epsilon_N = \epsilon_m n_c / n_n. \tag{18}$$

Запишем (18) при  $n_c = n_m$  и  $\epsilon_m = k_m$

$$\epsilon_{Nm} = k_m n_m / n_n,$$

откуда

$$n_m = \epsilon_{Nm} n_n / k_m, \tag{19}$$

где  $\epsilon_{Nm}$  – минимальный коэффициент загрузки двигателя по мощности.

Результаты расчета по формуле (19) для граничных значений из формулы (15)

$$k_m = 1,27; n_m = 1405; k_n = 1,494;$$

$$k_m = 1,45; n_m = 1231; k_n = 1,706.$$

Далее используем расчетные формулы:

$$M_n = 30N_n / \pi n_n; \tag{20}$$

$$M_{max} = k_m M_n; \tag{21}$$

$M_c(n_c)$  аппроксимируем линейной функцией:

$$M_c = M_n + (M_{\max} - M_n)(n_n - n_c) / (n_n - n_m); \quad (22)$$

$$N_c = \pi M_c n_c / 30. \quad (23)$$

Функции (20)–(23), (16) и (17) рассчитываем в цикле по переменной  $n_c$ , изменяемой от  $n_n$  до  $n_m$ . Пример расчета для граничных значений  $k_m$  представлен в табл. 3.

В работе Г.М. Кутькова [1] обосновано, что двигатель в режиме перегрузки работает с коэффициентом загрузки по мощности

$$\varepsilon_N < 1, \quad (24)$$

но может работать на небольшом участке характеристики и в номинальном режиме, то есть при

$$\varepsilon_N = 1 \text{ или при } \varepsilon_N = 1 + \varepsilon, \quad (25)$$

где  $\varepsilon$  – малое число.

Из табл. 3 следует, что ограничения (24) и (25) выполняются при  $\varepsilon_{Nm} = 0,85$ .

### **Влияние $k_m$ на эффективность работы трактора**

Сравним загрузку двигателя по мощности при  $k_m = 1,27; 1,35$  и  $1,45$ . Из (22) после преобразования получим:

$$\varepsilon_m = 1 + (k_m - 1)(n_n - n_c) / (n_n - n_m),$$

откуда

$$n_c = n_n - (n_n - n_m)(\varepsilon_m - 1) / (k_m - 1). \quad (26)$$

По формуле (19) найдем  $n_m$ : при  $k_m = 1,35 - n_m = 0,85 \cdot 2100 / 1,35 = 1322 \text{ мин}^{-1}$ ; при  $k_m = 1,45 - n_m = 0,85 \cdot 2100 / 1,45 = 1231 \text{ мин}^{-1}$ .

Загрузку двигателя по мощности найдем при одинаковом для всех  $k_m$  моменте сопротивления на валу двигателя, соответствующем  $\varepsilon_m = 1,27$ . По формуле (26) получим соответствующие этому коэффициенту текущие значения частоты вращения вала:  $n_c = 1500 \text{ мин}^{-1}$  при  $k_m = 1,35$ ;  $n_c = 1578 \text{ мин}^{-1}$  при  $k_m = 1,45$ . С учетом этих значений по формуле (18) найдем  $\varepsilon_N$ .

Получили:  $\varepsilon_N = 0,85$  при  $k_m = 1,27$ ;  $\varepsilon_N = 0,907$  при  $k_m = 1,35$ ;  $\varepsilon_N = 0,954$  при  $k_m = 1,45$ . Таким образом, с увеличением  $k_m$  повышается загрузка двигателя по мощности, следовательно повышается эффективность трактора, режим работы которого ближе к номинальному.

### **Выводы**

1. Предложен метод общего решения задачи по расчету интервала изменения коэффициента приспособляемости тракторного двигателя по крутящему моменту. Метод заключается в минимизации разности двух функций (критерия оптимальности): первая – зависимость знаменателя геометрического ряда передач от коэффициента приспособляемости, вторая – зависимость знаменателя от отношения касательной силы тяги на последней передаче к такой же силе на первой передаче, то есть от силового диапазона.

2. По принятому критерию оптимальности получен интервал значений коэффициента приспособляемости двигателя по крутящему моменту – 1,27...1,45, который соответствует условию согласованности работы двигателя и трансмиссии по силовому и скоростному диапазонам с учетом коэффициента вариации момента сопротивления на валу двигателя.

Таблица 3

Функции  $\varepsilon_m(n_c)$  и  $\varepsilon_N(n_c)$  при граничных значениях  $k_m$

$n_c, \text{мин}^{-1}$	$\varepsilon_m$	$\varepsilon_N$	$n_c, \text{мин}^{-1}$	$\varepsilon_m$	$\varepsilon_N$
$k_m = 1,27; k_n = 1,494$			$k_m = 1,45; k_n = 1,706$		
$n_n = 2100$	1,000	1,000	$n_n = 2100$	1,000	1,000
2090	1,004	0,999	2031	1,035	1,001
2005	1,037	0,989	2021	1,041	1,002
1905	1,075	0,975	2011	1,046	1,002
1805	1,114	0,958	2001	1,051	1,002
$n_m = 1405$	1,27	0,850	1941	1,082	1,000
–	–	–	1931	1,087	0,999
–	–	–	$n_m = 1231$	1,45	0,850

3. Коэффициент приспособляемости двигателя по частоте вращения вала определен из условия: при максимальном моменте коэффициент загрузки двигателя по мощности равен 0,85.

4. С увеличением коэффициента приспособляемости двигателя по крутящему моменту повышается коэффициент загрузки двигателя по мощности, следовательно, повышается эффективность работы трактора.

### Литература

1. Кутьков Г.М. Тракторы и автомобили. Теория и технологические свойства. М.: КолосС, 2004. 504 с.
2. Скотников В.А., Мащенский А.А., Солонский А.С. Основы теории и расчета трактора и автомобиля. М.: Агропромиздат, 1986. 384 с.
3. Лачуга Ю.Ф., Самсонов В.А., Дидманидзе О.Н. Прикладная математика. Нелинейное программирование в инженерных задачах. М.: Колос, 2001. 288 с.
4. Каталог двигателей Минского моторного завода. URL: <https://www.po-mmz.minsk.ru>.
5. Каталог двигателей Ярославского моторного завода // [www.yamzopt.ru](http://www.yamzopt.ru).
6. Дизельные двигатели ОАО «Алтайдизель». URL: <https://www.suet-motor.ru>.

7. Иофинов С.А., Лышко Г.П. Эксплуатация машинно-тракторного парка. М.: Колос, 1984. 352 с.

### References

1. Kutkov G.M. Traktory i avtomobili. Teoriya i tekhnologicheskiye svoystva [Tractors and automobiles. Theory and technological properties]. Moscow: KolosS Publ., 2004. 504 p.
2. Skotnikov V.A., Mashchenskiy A.A., Solonskiy A.S. Osnovy teorii i rascheta traktora i avtomobilya [Fundamentals of the theory and calculation of the tractor and automobile]. Moscow: Agropromizdat Publ., 1986. 384 p.
3. Lachuga Yu.F., Samsonov V.A., Didmanidze O.N. Prikladnaya matematika. Nelineynoye programirovaniye v inzhenernykh zadachakh [Applied Mathematics. Nonlinear programming in engineering problems]. Moscow: Kolos Publ., 2001. 288 p.
4. Katalog dvigateley Minskogo motornogo zavoda [Catalog of engines of the Minsk Motor Plant] // [www.mmzopt.ru](http://www.mmzopt.ru).
5. Katalog dvigateley Yaroslavskogo motornogo zavoda [Catalog of engines of the Yaroslavl Motor Plant] // [www.yamzopt.ru](http://www.yamzopt.ru).
6. Dizelnyye dvigateli OAO «Altaydizel» [Diesel engines of Altaydizel OJSC]. // [www.suet-motor.ru](http://www.suet-motor.ru).
7. Iofinov S.A., Lyshko G.P. Ekspluatatsiya mashinno-traktornogo parka [Machine and tractor fleet operation]. Moscow: Kolos Publ., 1984. 352 p.