

1. Тяговый расчет трактора

Запишем данные:

Прототип трактора $T - 150K$

тип - *колесный*

схема - 4×4

Номинальная сила тяги: $P_H = 25 \text{кН}$

Фон поля - пашня

число основных передач $z = 5$

Расчетная скорость движения при номинальной силе тяги

$$V_{HI} = 5 \frac{\text{км}}{\text{ч}} \quad V_{HI} = 1.389 \cdot \frac{\text{м}}{\text{с}}$$

Максимальная транспортная скорость $V_{тр.макс} = 25 \frac{\text{км}}{\text{ч}}$

$$V_{тр.макс} = 6.944 \cdot \frac{\text{м}}{\text{с}}$$

Частота вращения коленчатого вала двигателя при номинальной мощности

$$n_H = 2200$$

Расчет:

1.1 Тяговый диапазон трактора

Тяговый диапазон трактора определяется по формуле

$$\delta_T = \varepsilon \cdot \frac{P_H}{P_{HI}}$$

где $P_H = 25 \cdot \text{кН}$ - номинальная сила тяги

$P_{HI} = 30 \cdot \text{кН}$ - номинальная сила тяги трактора предыдущего класса

$$\varepsilon = 2$$

тогда

$$\delta_T = \varepsilon \cdot \frac{P_H}{P_{HI}} = 2.0 \cdot \frac{25000.0}{30000.0} = 1.6667$$

$$\delta_T = 1.667$$

Зная тяговый диапазон и номинальную силу тяги трактора, можно определить его минимальную силу тяги из соотношения

$$P_{тр.мин} = \frac{P_H}{\delta_T} = \frac{25000.0}{1.6667} = 14999.7$$

тогда $P_{тр.мин} = 1.5 \times 10^4 \cdot \text{Н}$

материалов, балласта и тракториста, то такая масса называется конструктивной (m_k).

Полностью заправленный трактор с трактористом и балластом будет иметь массу эксплуатационную ($m_э$)

Эксплуатационную массу колесного трактора можно определить из следующих условий:

$$P_{k.max} \leq \phi_{доп} \cdot \lambda_k \cdot m_э \cdot g \quad \text{- условие по сцеплению}$$

$$P_{k.max} \geq P_H + f \cdot m_э \cdot g \quad \text{- условие по типажу}$$

откуда $\phi_{доп} \cdot \lambda_k \cdot m_э \cdot g \geq f \cdot m_э \cdot g$

При условии равенства будем иметь

$$m_э = \frac{P_H}{(\phi_{доп} \cdot \lambda_k - f) \cdot g}$$

где $P_H = 25 \cdot \kappa H$ - номинальная сила тяги трактора по типажу,

$\phi_{доп} = 0.56$ - допустимая величина коэффициента использования сцепного веса трактора

$\lambda_k = 1$ - коэффициент нагрузки на ведущие колеса трактора если тип = "колесный" и колесная схема = "4x4"

$f = 0.12$ - коэффициент сопротивления качению.

$$m_э = \frac{P_H}{(\phi_{доп} \cdot \lambda_k - f) \cdot g}$$

$$m_э = 5.792 \times 10^3 \cdot \text{кг}$$

$$m_э = 5.792 \cdot \text{тонн}$$

Конструктивная масса $m_k = \frac{m_э}{1.07}$

$$m_k = 5.413 \times 10^3 \cdot \text{кг}$$

1.3. Расчет номинальной мощности двигателя производится с учетом номинального тягового усилия

Расчет номинальной мощности двигателя производится с учетом номинального тягового усилия трактора, силы сопротивления качению, массы трактора, потерь на трение в трансмиссии и необходимого запаса мощности двигателя.

Учитывая вышеизложенное, номинальная мощность двигателя определится по формуле:

$$N_H = \frac{(P_H + f \cdot g \cdot m_э) \cdot V_{HI}}{3600 \cdot \eta_{тр} \cdot \chi_э}$$

где $V_{HI} = 1.389 \cdot \frac{M}{c}$ - расчетная скорость движения на низшей передаче,

η_{mp} - КПД, учитывающее потери мощности и определяемый по формуле

$$\eta_{mp} = \eta_y^n \cdot \eta_k^{n1} \cdot \eta_x$$

$\eta_y = 0.985$ - КПД цилиндрической пары шестерен

$\eta_k = 0.975$ - КПД конической пары шестерен

$\eta_x = 0.96$ - КПД, учитывающие потери на холостом ходу

$n = 3$ - число пар цилиндрических шестерен

$n1 = 2$ - число пар конических шестерен

$$\eta_{mp} = \eta_y^n \cdot \eta_k^{n1} \cdot \eta_x = 0.985^3 \cdot 0.975^2 \cdot 0.96 = 0.872$$

$$\eta_{mp} = 0.872$$

$\chi_{\text{э}} = 0.85$ - коэффициент эксплуатационной нагрузки тракторного двигателя

$$N_H = \frac{(P_H + f \cdot g \cdot m_{\text{э}}) \cdot V_{H1}}{3600 \cdot \eta_{mp} \cdot \chi_{\text{э}}}$$

1.4. Расчет основных рабочих скоростей трактора

Для расчета ряда основных скоростей трактора определяется диапазон скоростей, который характеризуется отношением высшей рабочей скорости к скорости на первой передаче

$$\delta_{V_{\text{ооc}}} = \frac{V_z}{V_{H1}}$$

где $V_{H1} = 5 \cdot \frac{\text{км}}{\text{ч}}$ - расчетная скорость на первой передаче (по заданию)

V_z - высшая рабочая скорость, которую необходимо определить

Величина скоростного диапазона подсчитывается по формуле

$$\delta_{V_{\text{ооc}}} = \delta_T \cdot \gamma_{\text{допmin}}$$

$\gamma_{\text{допmin}} = 0.85$ - коэффициент допустимой минимальной нагрузки двигателя

$\delta_T = 1.667$ - тяговый диапазон трактора

Тогда

$$\delta_{V_{\text{ооc}}} = 1.417$$

Для расчета высшей и промежуточной скоростей необходимо определить знаменатель геометрической прогрессии - q

$$q = \frac{V_2}{V_1} = \frac{V_3}{V_2} = \dots = \frac{V_z}{V_{z-1}}$$

$$V_z = V_1 \cdot q^{z-1}$$

$$\text{отсюда } q = \sqrt[z-1]{\frac{V_z}{V_1}} \quad q = \sqrt[z-1]{\delta_{V_{\text{ооc}}}}$$

Зная число q , определим скорости на всех передачах

передача скорость $V(z) = V_{HI} \cdot q^{z-1}$

$z =$	$V(z) =$	
1	1.389	$\cdot \frac{M}{c}$
2	1.515	
3	1.653	
4	1.804	
5	1.968	

Промежуточную транспортную скорость определяют как среднюю геометрическую величину между высшей транспортной и высшей скоростью основного ряда по формуле:

$$V_{mp2} = 0.2 \cdot (V_{тр.макс} + V(z))$$

где $V_{тр.макс} = 6.944$

при $z = 5$ передач

$$V(z) = 1.968 \cdot \frac{M}{c}$$

Тогда $V_{mp2} = 1.782 \cdot \frac{M}{c}$

1.5. Расчет передаточных чисел трансмиссии и коробки.

Передаточное число трансмиссии трактора на первой передаче определяется по формуле:

так как трактор имеет $тип = "колесный"$ то справедлива формула

$$i_{mp1} = 0.377 \cdot \frac{n_H \cdot r}{V_{HI}}$$

где $n_H = 2.2 \times 10^3 \frac{об}{мин}$ - номинальная частота вращения трактора

r - радиус качения ведущего колеса трактора

для данного трактора справедливы следующие параметры:

b - 21,3

d - 24

$l_{зв} = "для\ данного\ типа\ тракторов\ не\ используется"$

$r_{..} = "0,025(0.5d+0.82b)"$

$r = 0.748$

$$i_{mp1} = 0.377 \cdot \frac{n_H \cdot r}{V_{HI}}$$

где $n_H = 2.2 \times 10^3$

$V_{HI} = 5 \cdot \frac{\text{км}}{\text{ч}}$ - скорость движения трактора на первой расчетной передаче

$$i_{mp1} = 446.942$$

Остальные передаточные числа трансмиссии подсчитываются по формуле:

$$i_{mp2} = \frac{i_{mp1}}{q} \quad i_{mp3} = \frac{i_{mp2}}{q}$$

$$i_{mp2} = 409.668 \quad i_{mp3} = 375.503$$

Так для каждой передачи находится передаточное отношение. Полученные данные можно свести в таблицу

$$i_{mp}(z) = \frac{i_{mp1}}{z-1} \cdot q$$

Передача

Передаточное число

$z =$

1
2
3
4
5

$i_{mp}(z) =$

446.942
409.668
375.503
344.187
315.482

Показатели энеpгонасыщенности и металлоемкости трактора.

Энеpгонасыщенность трактора характеризуется отношением номинальной мощности тракторного двигателя к эксплуатационной массе трактора.

Величину энеpгонасыщенности определяют по формуле:

$$N_э = \frac{N_H}{m_э}$$

$$N_H = 16.562$$

$$m_э = 5.792 \times 10^3$$

$$N_э = 2.859 \times 10^{-3} \frac{\text{кВт}}{\text{кг}}$$

Металлоемкость трактора характеризуется отношением конструктивной массы к номинальной мощности двигателя

$$q_m = \frac{m_k}{N_H}$$

где $m_k = 5.413 \times 10^3$

$$N_H = 16.562 \text{ кВт}$$

тогда $q_m = 326.836 \frac{\text{кг}}{\text{кВт}}$

Регуляторная скоростная характеристика двигателя в функции от частоты вращения коленчатого вала

Определяем значения номинальной мощности в зависимости от выбранной частоты вращения вала двигателя:

$$N_E(n_e) = N_H \left[C_1 \cdot \frac{n_e}{n_H} + C_2 \cdot \left(\frac{n_e}{n_H} \right)^2 - \left(\frac{n_e}{n_H} \right)^3 \right]$$

где $N_H = 16.562$

$$C_1 = 0.5$$

для *дизелей с непосредственным впрыском топлива*

$$C_2 = 1.5$$

$$n_H = 2.2 \times 10^3 \frac{\text{об}}{\text{мин}}$$

тогда

$$N_E(n_e) = N_H \left[C_1 \cdot \frac{n_e}{n_H} + C_2 \cdot \left(\frac{n_e}{n_H} \right)^2 - \left(\frac{n_e}{n_H} \right)^3 \right]$$

На регуляторной ветви характеристики принимают изменения мощности по закону прямой линии от $N_e = 0$ до $N_{e,max}$

Для определения $N_e = 0$ определяют частоту вращения коленчатого вала двигателя на холостом ходу по формуле:

$$n_k = (1 + \delta_p) \cdot n_H$$

где $\delta_p = 0.075$ коэффициент неравномерности регулятора

тогда

$$n_k = (1 + \delta_p) \cdot n_H = (1 + 0.075) \cdot 2200 = 2365.0$$

Зная мощность и частоту вращения коленчатого вала двигателя, определяем крутящий момент по формуле:

$$M_{kp} = 10^3 \cdot \frac{N_E(n_e)}{\omega}$$

$$\text{где } \omega(n_e) = \frac{\pi \cdot n_e}{30} \text{ с}^{-1}$$

$$\text{тогда } M_{kp}(n_e) = 10^3 \cdot \frac{N_E(n_e)}{\omega(n_e)}$$

По удельному расходу топлива при номинальной мощности двигателя определяют максимальный часовой расход топлива по формуле:

$$G_{Tmax} = \frac{g_{en} \cdot N_H}{10^3} = \frac{240 \cdot N_H}{10^3}$$

$$G_{Tmax} = 3.975 \frac{\text{кг}}{\text{ч}}$$

Для холостого хода двигателя принимают

$$G_{TX} = 1.093 \frac{\text{кг}}{\text{ч}}$$

Промежуточные точки часового расхода топлива на регуляторной ветви принимают по закону прямой линии.

По часовому расходу топлива и соответствующей мощности двигателя на регуляторном участке определяют удельный расход топлива по формуле:

Построение регуляторной характеристики дизеля
 Расчет показателей двигателя для построения регуляторной характеристики дизеля
 Текущие значения мощности N_e и эффективного удельного расхода топлива дизеля в безрегуляторной зоне его характеристики находятся из выражения:

$$N_e = N_{e.n} \cdot \left[0.5 \cdot \frac{n}{n_n} + 1.5 \cdot \left(\frac{n}{n_n} \right)^2 - \left(\frac{n}{n_n} \right)^3 \right]$$

$$g_e = g_e \cdot \left[1.55 - 1.55 \cdot \left(\frac{n}{n_n} \right) + \left(\frac{n}{n_n} \right)^2 \right]$$

где n - частота вращения коленчатого вала дизельного двигателя в интервале от номинальной частоты до минимально возможной.

Принимая для прототипа частоту

$$n_H = 2.2 \times 10 \frac{\text{об}}{\text{с}}$$

$$N_e(n) = N_{e.n} \cdot \left[0.5 \cdot \frac{n}{n_n} + 1.5 \cdot \left(\frac{n}{n_n} \right)^2 - \left(\frac{n}{n_n} \right)^3 \right]$$

$$g_e(n) = g_e \cdot \left[1.55 - 1.55 \cdot \left(\frac{n}{n_n} \right) + \left(\frac{n}{n_n} \right)^2 \right]$$

$$G_{TI}(n) = g_e(n) \cdot N_e(n)$$

обороты

мощность

удельный расход

расход топлива

$n =$	$\frac{\text{об}}{\text{с}}$	$N_e(n) =$	кВт	$g_e(n) =$	$\frac{\text{кг}}{\text{кВт} \cdot \text{ч}}$	$G_{TI}(n) =$	$\frac{\text{кг}}{\text{ч}}$
440		$2.517 \cdot 10^3$		0.315		792.672	
660		$4.273 \cdot 10^3$		0.289		$1.235 \cdot 10^3$	
880		$6.227 \cdot 10^3$		0.268		$1.67 \cdot 10^3$	
$1.1 \cdot 10^3$		$8.281 \cdot 10^3$		0.252		$2.088 \cdot 10^3$	
$1.32 \cdot 10^3$		$1.033 \cdot 10^4$		0.241		$2.491 \cdot 10^3$	
$1.54 \cdot 10^3$		$1.229 \cdot 10^4$		0.235		$2.887 \cdot 10^3$	
$1.76 \cdot 10^3$		$1.404 \cdot 10^4$		0.234		$3.282 \cdot 10^3$	
$1.98 \cdot 10^3$		$1.55 \cdot 10^4$		0.237		$3.68 \cdot 10^3$	
$2.2 \cdot 10^3$		$1.656 \cdot 10^4$		0.246		$4.074 \cdot 10^3$	

определяется по формуле:

$$M_k(n) = \frac{N_e(n)}{2 \cdot 3.14 \cdot n}$$

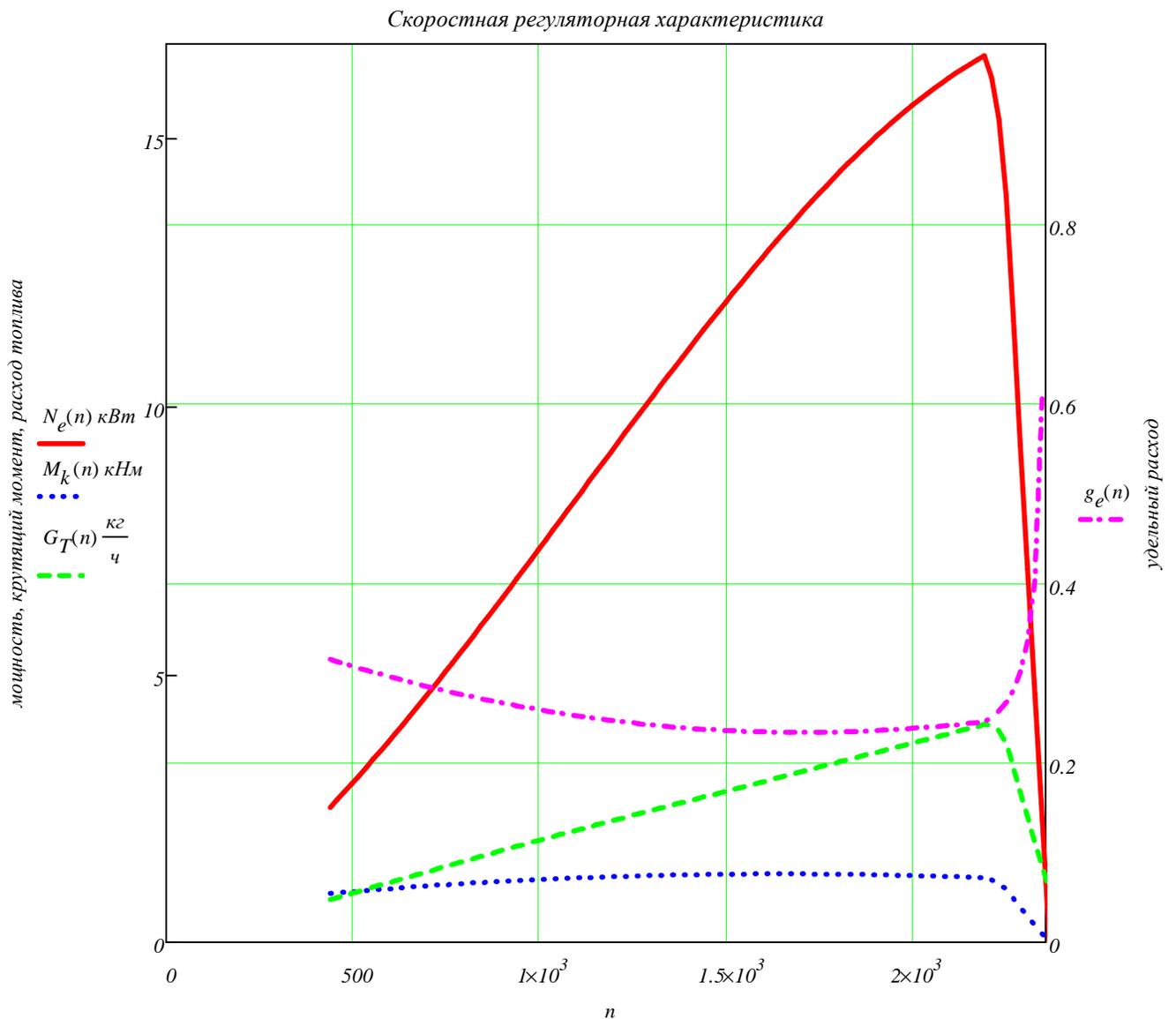
Определяем значения крутящих моментов

$$M_k(n) =$$

0.911
1.031
1.127
1.199
1.247
1.271
1.271
1.247
1.199

H·м

Промежуточные точки крутящего момента, мощности двигателя и расхода на регуляторной ветви принимают по закону прямой линии



4. Определение механического КПД трансмиссии

Механический КПД трансмиссии

$$\eta_{tr} = \eta_c^n \cdot \eta_k^m \cdot \left(1 - \frac{\xi_I \cdot M_{kn}}{M_k} \right)$$

η_c - КПД пары цилиндрического зацепления;

η_k - КПД пары конического зацепления;

n - число пар цилиндрического зацепления;

m - число пар конического зацепления;

ξ_I - расчетный коэффициент ;

M_{kn} - Номинальный крутящий момент;

M_k - текущий крутящий момент двигателя.

Первый режим работы трансмиссии - когда момент расходуется только на преодоление сил трения в ней:

$\eta_{tr} = 0$, когда момент прокрутки

$$M_{pr} = M_k = \xi_I \cdot M_{kn}$$

$$\xi_I = 0.04 \quad M_{kn} = M_{kI}$$

$$M_{kx} = \xi_I \cdot M_k(n_n)$$

$$M_{kx} = 0.048 \quad \text{Н}\cdot\text{м}$$

Второй режим работы - когда двигатель развивает эксплуатационную мощность , т. е . трансмиссия работает на расчетных нагрузках при

$$\eta_{tr} = 0.92$$

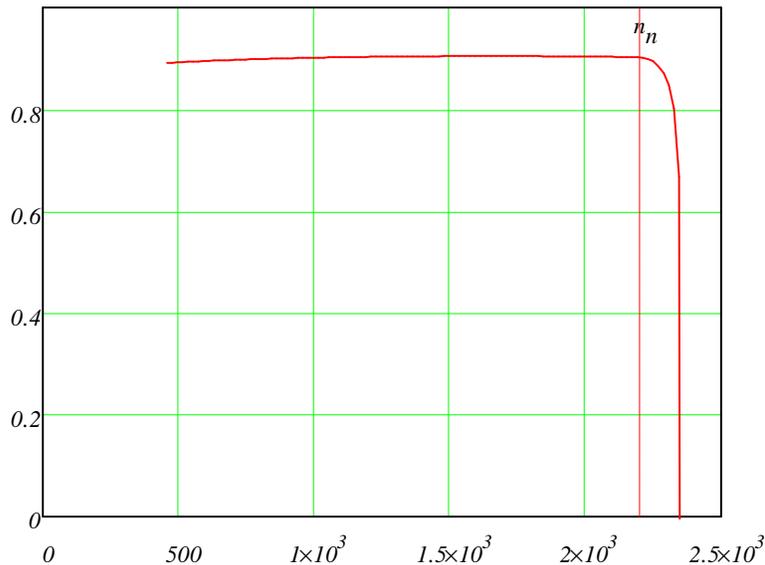
$$\eta_c^n \cdot \eta_k^m = \frac{\eta_{tr}}{1 - \xi_I} = \frac{0.92}{1 - 0.04} = 0.94 \quad M_k(n_n) = 1.199$$

Расчет механического КПД сведем в таблицу

$$\eta_{tr} = 0.94 \left(1 - \frac{\xi_I \cdot M_k(n_n)}{M} \right)$$

$$\eta_{tr}(n) = 0.94 \left(1 - \frac{\xi_I \cdot M_k(n_n)}{M_k(n)} \right)$$

Зависимость механ. КПД от оборотов



Определение координат нулевой точки оси касательной силы P_k тяги движителей

За начало оси P_k выбираем точку O , с координатами P_f , M_{hx} в третьем квадранте
Сила P_f определяется по формуле

$$P_{fe} = f_e \cdot G_{max} \quad \text{где} \quad G_{max} = m_{\Sigma} \cdot g \quad G_{max} = 5.682 \times 10^4 \text{ Н}$$

где f_e - коэффициент сопротивления качению при заданном агрофоне

$$f_e = 0.16$$

$$P_{fe} = 9.091 \times 10^3 \text{ Н}$$

Нахождение движителей трактора

Теоретический радиус r_k

$$r_k = 0.5 \cdot (2 \cdot B + D) - \Pi_h \cdot B$$

$$r_k = 0.5 \cdot D + 0.8 \cdot B$$

где B и D - соответственно ширина профиля и диаметр обода шины (см по приложению)

Для колесных тракторов размеры шин ихведущих колес выбирают исходя из весовой нагрузки .

Нагрузку на одно ведущее колесо можно определить из выражения

$$G_k = 0.5 \cdot \lambda_k \cdot G_{max}$$

λ_k - коэффициент нагрузки ведущих движителей трактора

$$G_k = 2.841 \times 10^4 \text{ Н}$$

Из приложения находим:

$G_k = "21...24.2"$ - Грузоподъемность шины в кН при указанном давлении воздуха

$P_d = "1.1...1.4"$ - Давление воздуха в шинах *0.01 МПа

$B = 15$ - Ширина колеса (в дюймах)

$D = 20$ - Радиус колеса (в дюймах)

Отсюда

$$r_k = (0.5 \cdot D + 0.8 \cdot B) \cdot 25.4 \cdot 10^{-3}$$

$$r_k = 0.559 \text{ м}$$

Построение кривой буксования трактора на эталонном агрофоне

Для построения кривой буксования воспользуемся методом Н.К. Куликова

$$\delta = \frac{k \cdot p}{1 - (1 - k) \cdot p^3}$$

$$p = \frac{P_{kr.i}}{\phi \cdot \lambda_k \cdot G_{max}}$$

Зададимся значениями тягового усилия

$$P_{kr.2} = 25 \text{ кН}$$

По умолчанию данную крюковую нагрузку взяли равной номинальной крюковой нагрузке для неё величина буксования

$$\delta_2 = 0.175 \text{ величина буксования при номинальной крюковой нагрузке}$$

Следовательно безразмерный коэффициент тяги

$$p_2 = \frac{P_{kr.2} \cdot 10^3}{\phi_e \cdot \lambda_k \cdot G_{max}}$$

$$p_2 = 0.733$$

Запишем коэффициент для данного трактора

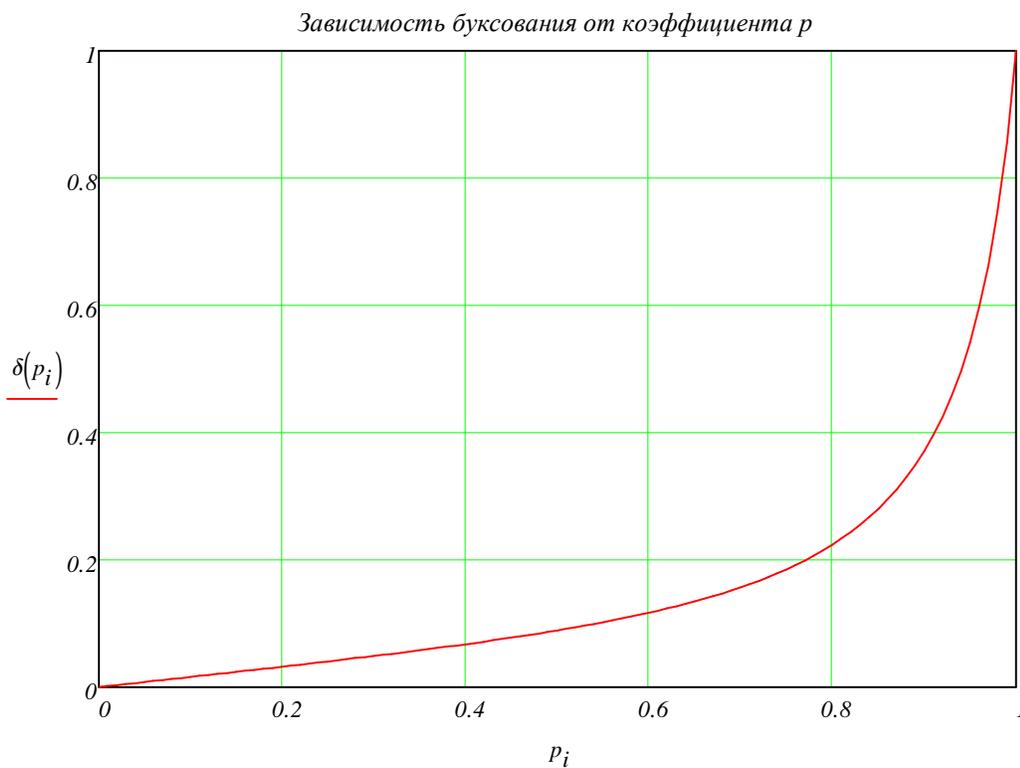
$$k = \frac{\delta_2 \cdot (1 - p_2^3)}{p_2 \cdot (1 - \delta_2 \cdot p_2^2)}$$

Имея данные по коэффициенту, а также формулы, учтенные ниже, можем записать зависимость буксования от крюкового усилия, а также зависимость буксования от безразмерного коэффициента тяги.

$$\delta = \frac{k \cdot p}{1 - (1 - k) \cdot p^3} \quad p = \frac{P_{kr.i}}{\phi \cdot \lambda_k \cdot G_{max}} \quad \text{Тогда}$$

$$\delta = \frac{k \cdot \frac{P_{kr.i}}{\phi \cdot \lambda_k \cdot G_{max}}}{1 - (1 - k) \cdot \left(\frac{P_{kr.i}}{\phi \cdot \lambda_k \cdot G_{max}} \right)^3}$$

Создадим графики



Определение максимальных и минимальных усилий трактора

Величина максимальной тяговой силы P_{kr} максимальна. определяется из выражения:

$$P_{kr.max} = \chi_{II} \cdot P_n$$

χ_{II} - коэффициент перегрузки по тяге, для колесных тракторов

$$\chi_{II} = 1.1 \dots 1.15$$

Примем

$$\chi_{II} = 1.15$$

$$P_{kr.max} = \chi_{II} \cdot P_n$$

При определении минимального тягового усилия тракторов, необходимо учитывать номинальное тяговое усилие трактора предыдущего класса (или номинальное тяговое усилие трактора через один класс, снижение КПД перекачивания, (качения) движителей трактора при уменьшении его тягового усилия, нежелательность увеличения числа моделей и модификаций тракторов в хозяйствах.

$$P_{kr.min} = \chi \cdot (P_n(n-1) \dots P_n(n-2))$$

$\chi = 0.85$ - Коэффициент загрузки трактора по тяге

Номинальное тяговое усилие трактора ниже стоящего класса

$$P_{n1} = 20$$

Тогда минимальная тяговая нагрузка:

$$P_{kr.min} = \chi \cdot P_{n1}$$

$$P_{kr.min} = 17 \text{ кН}$$

Определение максимальных и минимальных касательных сил движителей трактора

максимальная касательная сила тяги трактора определяется по формуле:

$$P_{k.max} = P_{kr.max} \cdot 10^3 + f_e \cdot G_{max}$$

$$P_{kr.max} = 28.75 \text{ кН}$$

$$f_e = 0.16$$

$$G_{max} = 5.682 \times 10^4 \text{ Н}$$

Тогда

$$P_{k.max} = 3.784 \times 10^4 \text{ Н}$$

Минимальная касательная сила тяги трактора определяется из выражения

$$P_{k.min} = P_{kr.min} \cdot 10^3 + f_T \cdot G_{max} \quad f_T = 0.09$$

$$f_T = 0.09$$

Тогда

$$P_{k.min} = 2.211 \times 10^4 \text{ Н}$$

Определение рабочих и теоретических скоростей трактора на первой и последней передачах.

Построение лучевой диаграммы касательных сил

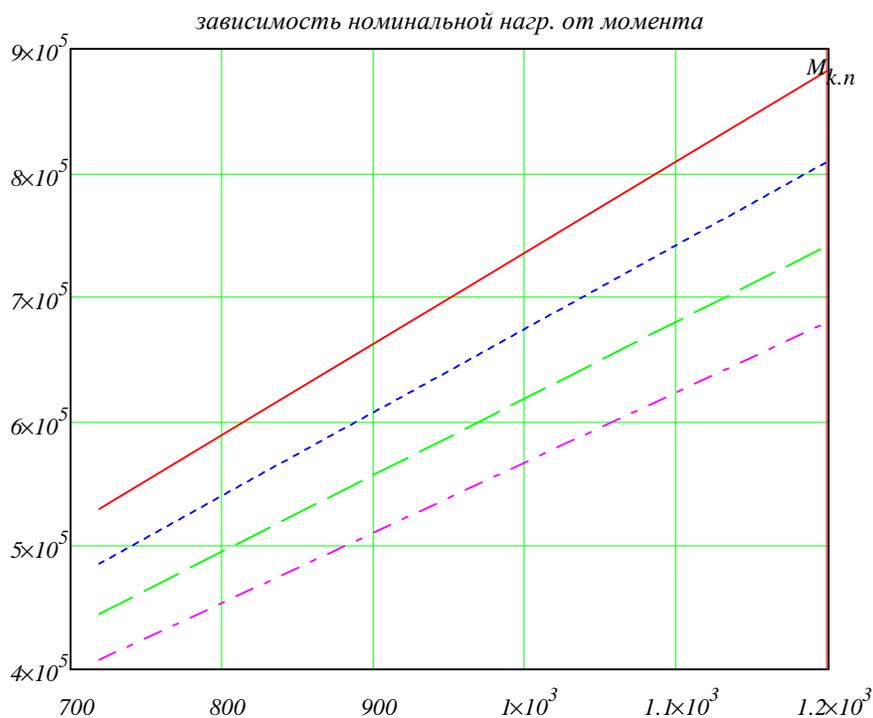
Касательные силы тяги движителей трактора при эксплуатационной нагрузке на всех передачах определяется по формуле

$$P_{k.n(i)} = \frac{M_{k.n} \cdot i_{tr(i)} \cdot \eta_{tr1}}{r_k} \quad \eta_{tr1} = 0.92$$

$$i = \quad P_{k.n(i)} =$$

1	$8.821 \cdot 10^5$
2	$8.085 \cdot 10^5$
3	$7.411 \cdot 10^5$
4	$6.793 \cdot 10^5$
5	$6.226 \cdot 10^5$

Вт - для каждой передачи

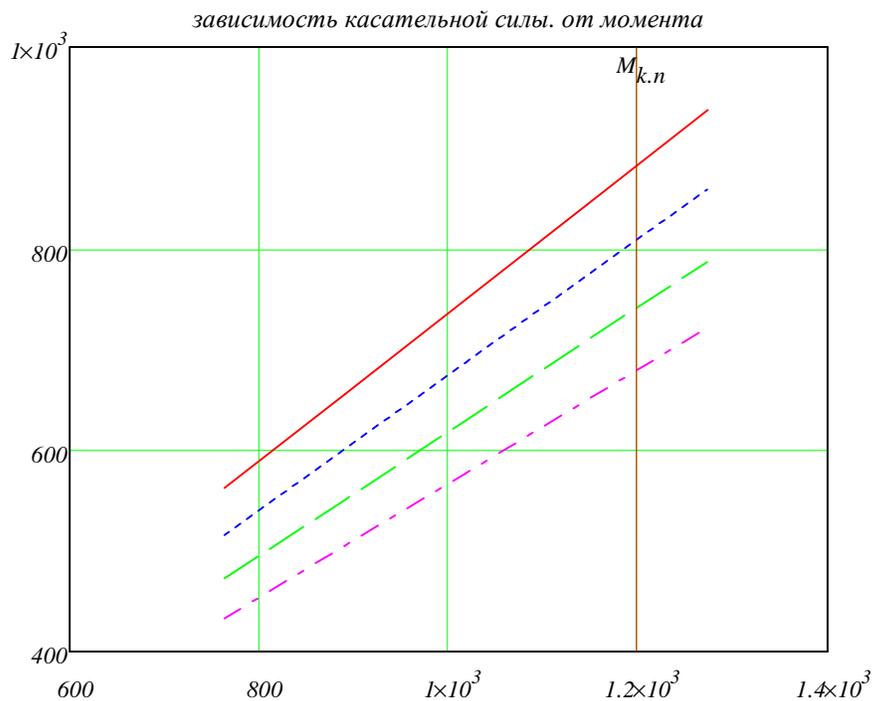


Через найденные проекции абцисс R_k для каждой передачи и точку O_1 с координатами (P_1, M_{xx}) проводится пучок прямых, продолженных до пересечения с прямой 2-2. Точки пересечения представляют из себя абциссы максимальных значений касательных сил трактора на каждой передаче. Их величины можно аналитически определить из выражения

$$P_{k.max(i)} = \frac{M_{kr.max} \cdot (i_{tr(i)} \cdot \eta_{tr1})}{r_k}$$

$$i = \quad P_{k.max(i)} =$$

1	937.205
2	859.044
3	787.402
4	721.734



Построение лучевой диаграммы теоретических скоростей движения трактора

Величины максимальной и минимальной теоретической скорости трактора на любой передаче определяется по формуле

$$v_{t,max}(i) = \frac{2 \cdot \pi \cdot r_k \cdot n_n}{i_{tr}(i)} \qquad n_n = \frac{n_n}{60}$$

- теоретический радиус качения

n_e - эксплуатационная частота вращения

i_{tr} - передаточное число на каждой передаче

$$v_{t,min}(i) = \frac{2 \cdot \pi \cdot r_k \cdot n_{M.kr.max}}{i_{tr}(i) \cdot 60}$$

$i =$	$i_{tr}(i) =$	$v_{t,max}(i) =$	$v_{t,min}(i) =$
1	446.942	0.288	0.216
2	409.668	0.314	0.236
3	375.503	0.343	0.257
4	344.187	0.374	0.281
5	315.482	0.408	0.306

т. е. при

$$P_{kr} = 0 \quad v_p = v_{t.max}$$

Определение величины рабочих скоростей трактора

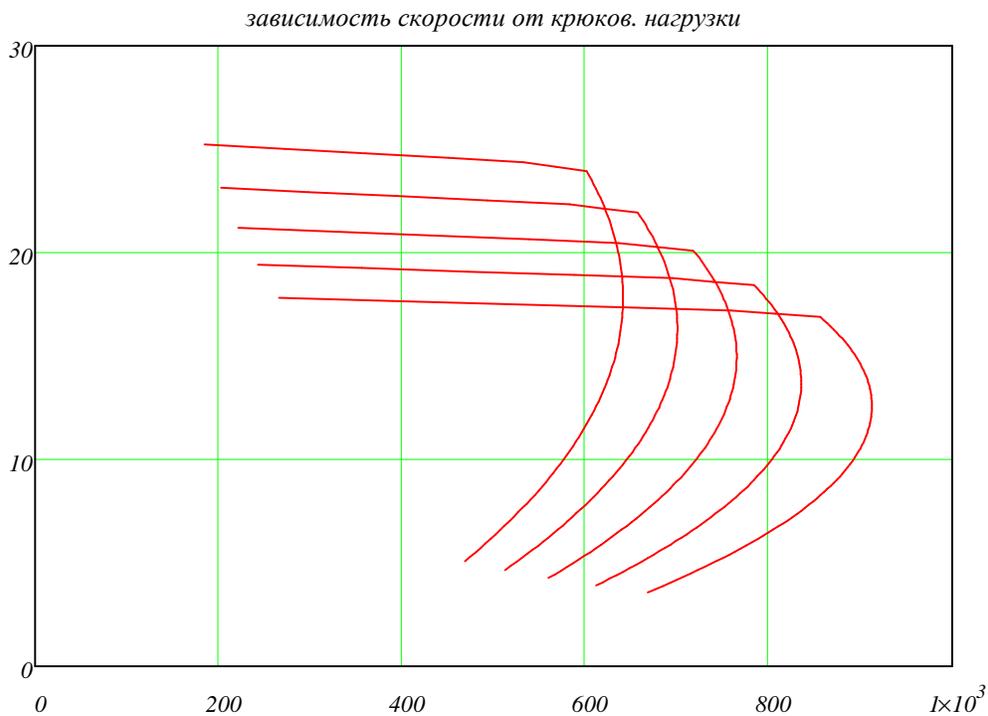
Рабочая скорость трактора на любой передаче является функцией вида

и определяется по формуле

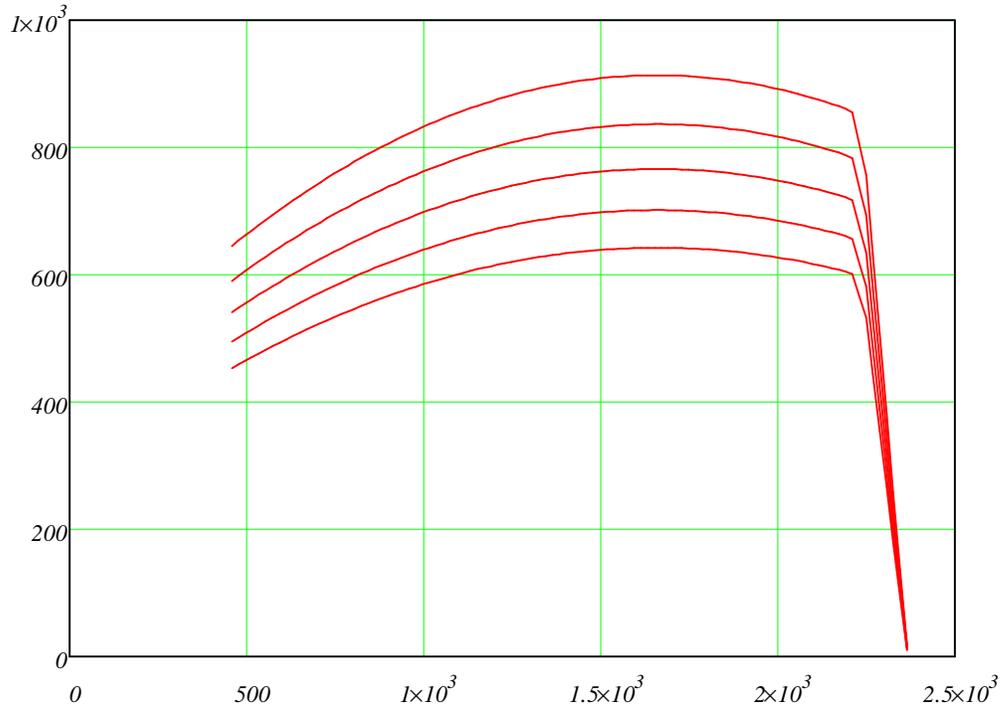
$$P_k(i, n) = \frac{M_k(n) \cdot i_{tr}(i) \cdot \eta_{tr}(n)}{r_k} \quad \text{- зависимость касательной нагрузки от частоты}$$

$$P_{kr}(i, n_v) = \frac{P_k(i, n_v) \cdot 10^3 - f_e \cdot G_{max}}{1000} \quad \text{- зависимость крюковой нагрузки от частоты}$$

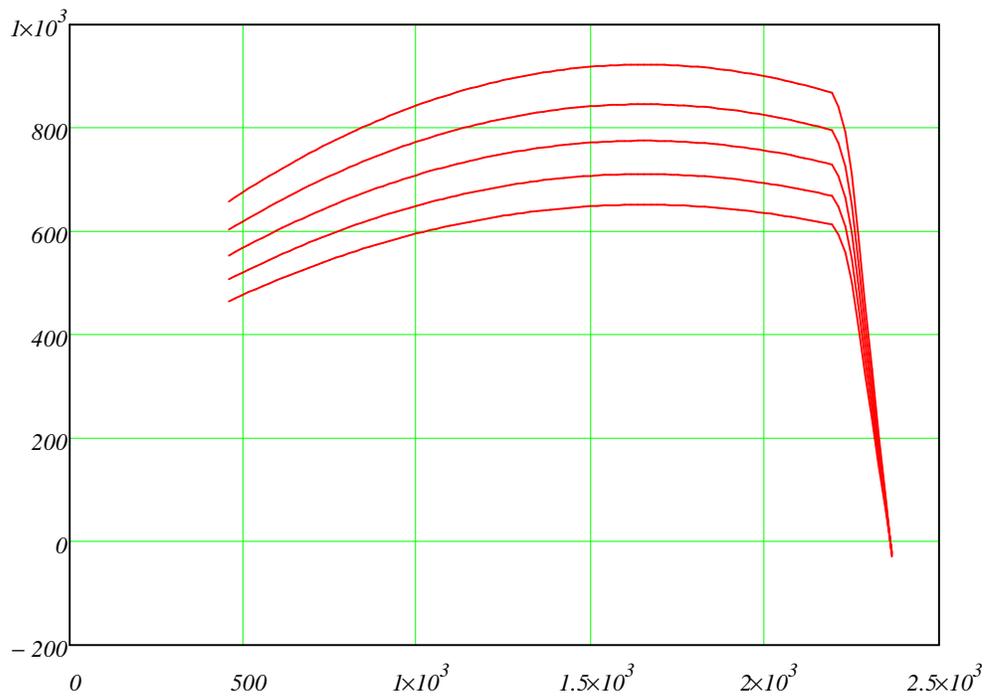
$$v_r(i, n) = v_t(i, n) \cdot (1 - \delta_{kr}(P_{kr}(i, n))) \quad \text{- зависимость рабочей скорости от крюковой нагрузки}$$



Зависимость крюковой нагрузки от частоты вращения



Зависимость касательной силы от частоты вращения



Определение величины тяговой мощности трактора.

Величина тяговой мощности определяется из выражения

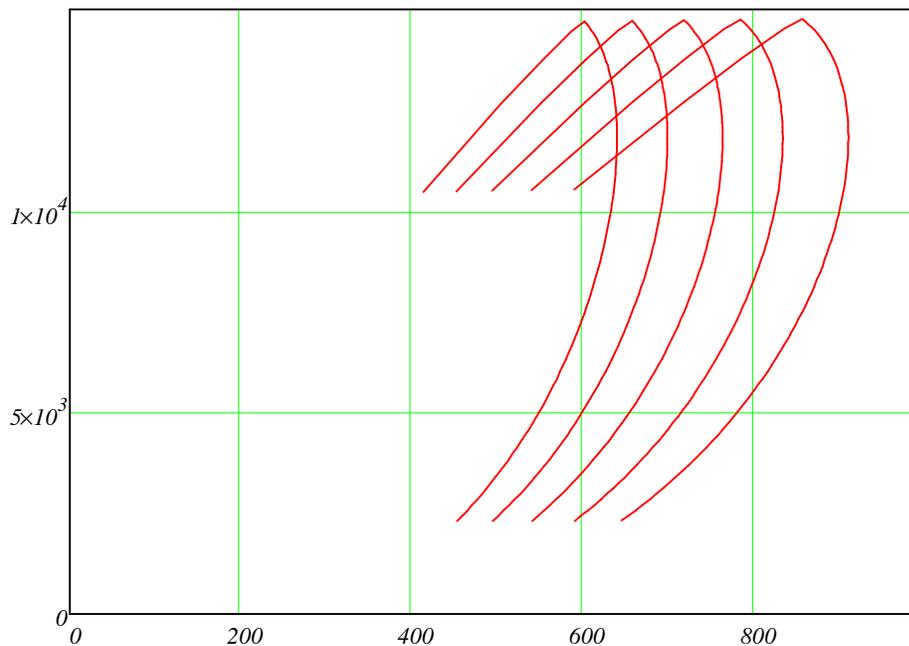
$$N_{kr} = P_{kr} \cdot v_p$$

P_{kr} - тяговое усилие трактора, кН

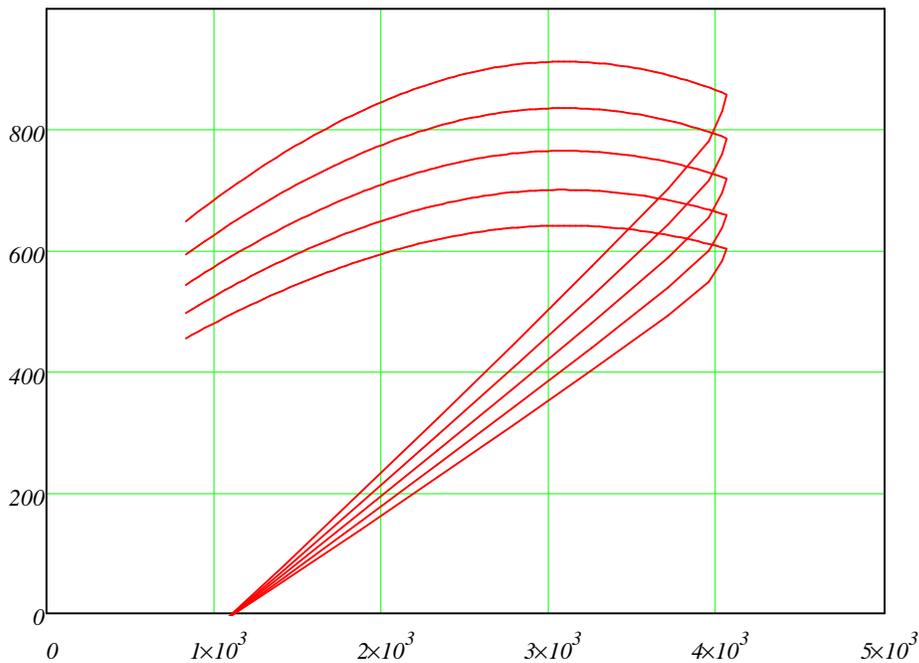
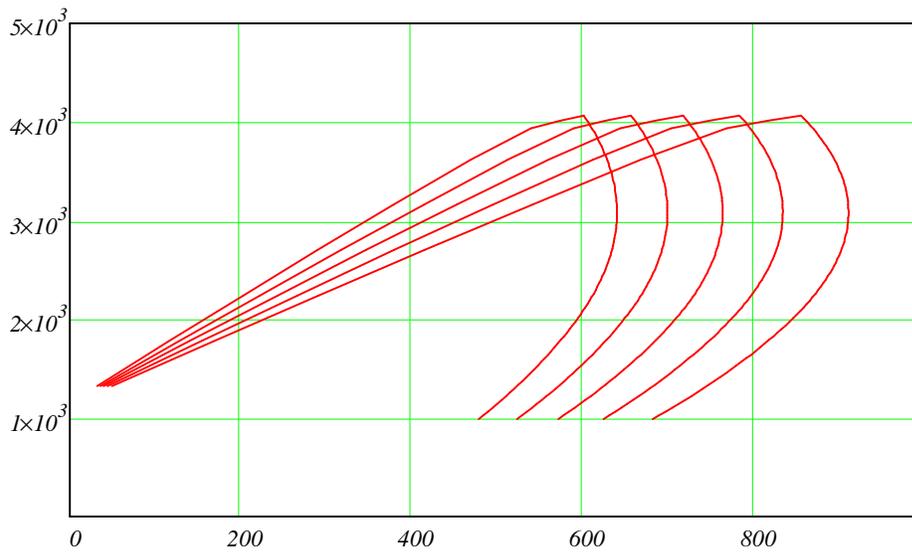
v_p - рабочая скорость трактора, м/с

Значения P_{kr} выбираются от 0 до максимального значения на каждой передаче. Величина v_p определяется графически на выбранных значениях P_{kr} . Результаты заносим в таблицу.

$$N_{kr}(i, n) = P_{kr}(i, n) \cdot v_p(i, n)$$



Определение часового расхода топлива двигателем в зависимости от крутящего момента



Определение удельного тягового расхода топлива двигателем

Величина удельного тягового расхода $g_{kr} = f(P_{kr})$

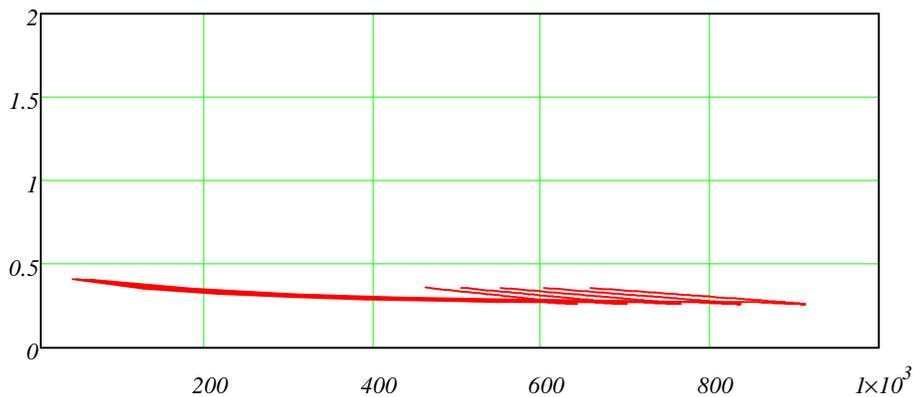
топлива на каждой передаче представляет из себя следующую зависимость:

$$g_{kr} = \frac{G_{tt}}{N_{kr}}$$

- часовой расход топлива двигателем, кг/ч

N_{kr} -тяговая мощность, кВт

$$g_{kr}(i, n) = \frac{G_T(n)}{N_{kr}(i, n)}$$



Определение величины тягового КПД трактора

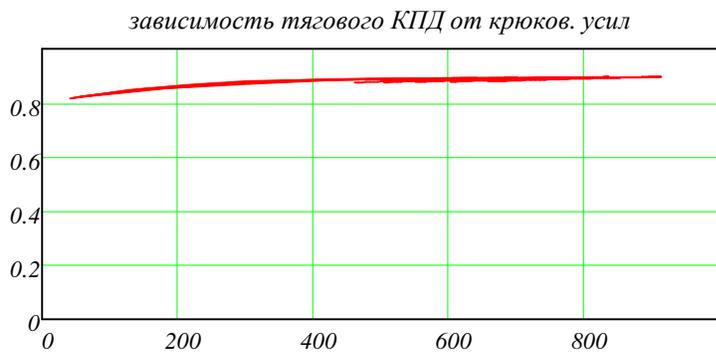
Тяговый КПД $\eta_{tg} = f(P_{kr})$ трактора определяется по формуле

$$\eta_{tg} = \frac{N_{kr}}{N_e}$$

Можно определить аналитически по формуле

$$\eta_{tg}(P_{kr.}) = (1 - \delta_{kr}(P_{kr.})) \left(1 - \frac{f_e \cdot G_{max}}{P_{kr.} + f_e \cdot G_{max}} \right)$$

$$\eta_{tg}(i, n) = \frac{N_{kr}(i, n)}{N_e(n)}$$



Вторая часть курсовой работы.

Тяговая динамика и топливная экономичность двигателя

Прототип автомобиля Газ - 3307

грузоподъемность $G = 4.5 \cdot 10^3$ кг

Число передач $z = 5$



Максимальная скорость движения на прямой передаче $V_{a.max} = 85 \frac{\text{км}}{\text{ч}}$

Приведенный коэффициент дорожного сопротивления $\psi = 0.03$

Решение.

1. Расчет мощности и частоты вращения вала двигателя автомобиля

Мощность N_e двигателя, необходимую для движения полностью нагруженного автомобиля с установившейся максимальной скоростью $V_{a.max}$ в заданных дорожных условиях, определяют по формуле

$$N_e = \frac{V_{a.max}}{3600} \cdot \left(G_a \cdot \psi + k \cdot \frac{F \cdot V_{a.max}^2}{3.6^2} \right) \cdot 10^3 \quad \text{Вт}$$

где $G_a = (M + G) \cdot 9.81 = (3750.0 + 4.5 \cdot 10^3) \cdot 9.81 = 80932.5 \quad \text{Н}$

$\psi = 0.03$ - приведенный коэффициент дорожного сопротивления,

$k = 0.7$ - коэффициент обтекаемости автомобиля,

$F = 3.6 \quad \text{м}^2$ - площадь лобового сопротивления автомобиля;

$$N_e = \frac{V_{a.max}}{3600} \cdot \left(G_a \cdot \psi + k \cdot \frac{F \cdot V_{a.max}^2}{3.6^2} \right) \cdot 10^3 = \frac{85}{3600} \cdot \left(80932.5 \cdot 0.03 + 0.7 \cdot \frac{3.6 \cdot 85^2}{3.6^2} \right) \cdot 10^3 = 90497.519$$

Определяем максимальную мощность двигателя по формуле:

$$N_{e,max} = N_e \cdot 1.1 = 90497.519 \cdot 1.1 = 99547.271 \quad \text{Вт}$$

Частота вращения коленчатого вала двигателя, соответствующая максимальной мощности, определяется коэффициентом оборотности двигателя η_n , равным отношению частоты вращения коленчатого вала двигателя к соответствующей скорости движения автомобиля.

$$\eta = \frac{n_{max}}{V_{a.max}} \quad \text{тогда} \quad n_{max} = \eta_n \cdot V_{a.max}$$

Для грузовых автомобилей коэффициент оборотности принимают равным в пределах 30...40 в соответствии с прототипом и расчетной максимальной мощностью двигателя

$$\eta_n = 35$$

при $V_{a.max} = 85 \frac{\text{км}}{\text{ч}}$

$$n_{max} = \eta_n \cdot V_{a.max} = 35 \cdot 85 = 2975.0 \text{ мин}^{-1}$$

Расчет и построение внешней скоростной характеристики двигателя.

В зависимости от типа двигателя (четырёхтактный с искровым зажиганием или четырёхтактный дизельный) составим

При известной максимальной мощности и соответствующей ей максимальной частоте внешнюю скоростную характеристику можно построить используя эмпирическую формулу предложенную Лейдманом С.Р., которая имеет следующий вид

$$N_e(n) = N_{max} \cdot \frac{n}{n_{max}} \left[A_1 + A_2 \cdot \frac{n}{n_{max}} - \left(\frac{n}{n_{max}} \right)^2 \right]$$

где $A_1 = 0.6$ - коэффициенты, характеризующие тип двигателя (см таблицу)

$$A_2 = 1.4$$

$$n_{max} = 2.975 \times 10^3 \frac{\text{об}}{\text{мин}}$$

$$N_{e.max} = 9.955 \times 10^4 \text{ Вт}$$

тогда при $0.2 \cdot n_{max} = 595 \frac{\text{об}}{\text{мин}}$

$$N_{e0.2} = N_{e.max} \cdot \frac{0.2 \cdot n_{max}}{n_{max}} \left[A_1 + A_2 \cdot \frac{0.2 \cdot n_{max}}{n_{max}} - \left(\frac{0.2 \cdot n_{max}}{n_{max}} \right)^2 \right]$$

$$N_{e0.2} = 99547.271 \cdot \frac{0.2 \cdot 2975.0}{2975.0} \cdot \left[0.6 + 1.4 \cdot \frac{0.2 \cdot 2975.0}{2975.0} - \left(\frac{0.2 \cdot 2975.0}{2975.0} \right)^2 \right] = 16723.94 \text{ Вт}$$

при $0.4 \cdot n_{max} = 1.19 \times 10^3 \frac{\text{об}}{\text{мин}}$

$$N_{e0.4} = N_{e.max} \cdot \frac{0.4 \cdot n_{max}}{n_{max}} \left[A_1 + A_2 \cdot \frac{0.4 \cdot n_{max}}{n_{max}} - \left(\frac{0.4 \cdot n_{max}}{n_{max}} \right)^2 \right]$$

$$N_{e0.4} = 99547.271 \cdot \frac{0.4 \cdot 2975.0}{2975.0} \cdot \left[0.6 + 1.4 \cdot \frac{0.4 \cdot 2975.0}{2975.0} - \left(\frac{0.4 \cdot 2975.0}{2975.0} \right)^2 \right] = 39818.91 \text{ Вт}$$

при $0.6 \cdot n_{max} = 1.785 \times 10^3 \frac{\text{об}}{\text{мин}}$

$$N_{e0.6} = N_{e.max} \cdot \frac{0.6 \cdot n_{max}}{n_{max}} \left[A_1 + A_2 \cdot \frac{0.6 \cdot n_{max}}{n_{max}} - \left(\frac{0.6 \cdot n_{max}}{n_{max}} \right)^2 \right]$$

$$N_{e0.6} = 99547.271 \cdot \frac{0.6 \cdot 2975.0}{2975.0} \cdot \left[0.6 + 1.4 \cdot \frac{0.6 \cdot 2975.0}{2975.0} - \left(\frac{0.6 \cdot 2975.0}{2975.0} \right)^2 \right] = 64506.63 \quad \text{Вт}$$

$$\text{при } 0.8 \cdot n_{\max} = 2.38 \times 10^3 \quad \frac{\text{об}}{\text{мин}}$$

$$N_{e0.8} = N_{e.\max} \cdot \frac{0.8 \cdot n_{\max}}{n_{\max}} \left[A_1 + A_2 \cdot \frac{0.8 \cdot n_{\max}}{n_{\max}} - \left(\frac{0.8 \cdot n_{\max}}{n_{\max}} \right)^2 \right]$$

$$N_{e0.8} = 99547.271 \cdot \frac{0.8 \cdot 2975.0}{2975.0} \cdot \left[0.6 + 1.4 \cdot \frac{0.8 \cdot 2975.0}{2975.0} - \left(\frac{0.8 \cdot 2975.0}{2975.0} \right)^2 \right] = 86008.84 \quad \text{Вт}$$

$$\text{при } n_{\max} = 2.975 \times 10^3 \quad \frac{\text{об}}{\text{мин}}$$

$$N_{e1} = N_{e.\max} \cdot \frac{n_{\max}}{n_{\max}} \left[A_1 + A_2 \cdot \frac{n_{\max}}{n_{\max}} - \left(\frac{n_{\max}}{n_{\max}} \right)^2 \right]$$

$$N_{e1} = 99547.271 \cdot \frac{2975.0}{2975.0} \cdot \left[0.6 + 1.4 \cdot \frac{2975.0}{2975.0} - \left(\frac{2975.0}{2975.0} \right)^2 \right] = 99547.27 \quad \text{Вт}$$

$$\text{при } 1.2 \cdot n_{\max} = 3.57 \times 10^3 \quad \frac{\text{об}}{\text{мин}}$$

$$N_{e1.2} = N_{e.\max} \cdot \frac{1.2 \cdot n_{\max}}{n_{\max}} \left[A_1 + A_2 \cdot \frac{1.2 \cdot n_{\max}}{n_{\max}} - \left(\frac{1.2 \cdot n_{\max}}{n_{\max}} \right)^2 \right]$$

$$N_{e1.2} = 99547.271 \cdot \frac{1.2 \cdot 2975.0}{2975.0} \cdot \left[0.6 + 1.4 \cdot \frac{1.2 \cdot 2975.0}{2975.0} - \left(\frac{1.2 \cdot 2975.0}{2975.0} \right)^2 \right] = 100343.6 \quad \text{Вт}$$

или проще свести все полученные данные в таблицу:

при

$n =$	$n\% =$	$N_e(n) =$
595	0.2	1.672·10 ⁴
1.19·10 ³	0.4	3.982·10 ⁴
1.785·10 ³	0.6	6.451·10 ⁴
2.38·10 ³	0.8	8.601·10 ⁴
2.975·10 ³	1	9.955·10 ⁴
3.57·10 ³	1.2	1.003·10 ⁵

$\frac{\text{об}}{\text{мин}}$

%

Вт

Крутящий момент $M_e(n) = 9,950 \frac{N_e(n)}{n}$

при $0.2n_{max} = 595 \quad \frac{\text{об}}{\text{мин}}$

$$M_{e0.2} = \frac{9.95 \cdot N_{e0.2}}{0.2 \cdot n_{max}} = \frac{9.95 \cdot 16723.94}{0.2 \cdot 2975.0} = 279.67 \quad \text{H} \cdot \text{м}$$

при $0.4n_{max} = 1.19 \times 10^3 \quad \frac{\text{об}}{\text{мин}}$

$$M_{e0.4} = \frac{9.95 \cdot N_{e0.4}}{0.4 \cdot n_{max}} = \frac{9.95 \cdot 39818.91}{0.4 \cdot 2975.0} = 332.94 \quad \text{H} \cdot \text{м}$$

при $0.6n_{max} = 1.785 \times 10^3 \quad \frac{\text{об}}{\text{мин}}$

$$M_{e0.6} = \frac{9.95 \cdot N_{e0.6}}{0.6 \cdot n_{max}} = \frac{9.95 \cdot 64506.63}{0.6 \cdot 2975.0} = 359.57 \quad \text{H} \cdot \text{м}$$

при $0.8n_{max} = 2.38 \times 10^3 \quad \frac{\text{об}}{\text{мин}}$

$$M_{e0.8} = \frac{9.95 \cdot N_{e0.8}}{0.8 \cdot n_{max}} = \frac{9.95 \cdot 86008.84}{0.8 \cdot 2975.0} = 359.57 \quad \text{H} \cdot \text{м}$$

при $n_{max} = 2.975 \times 10^3 \quad \frac{\text{об}}{\text{мин}}$

$$M_{e1} = \frac{9.95 \cdot N_{e1}}{n_{max}} = \frac{9.95 \cdot 99547.27}{2975.0} = 332.94 \quad \text{H} \cdot \text{м}$$

при $1.2n_{max} = 3.57 \times 10^3 \quad \frac{\text{об}}{\text{мин}}$

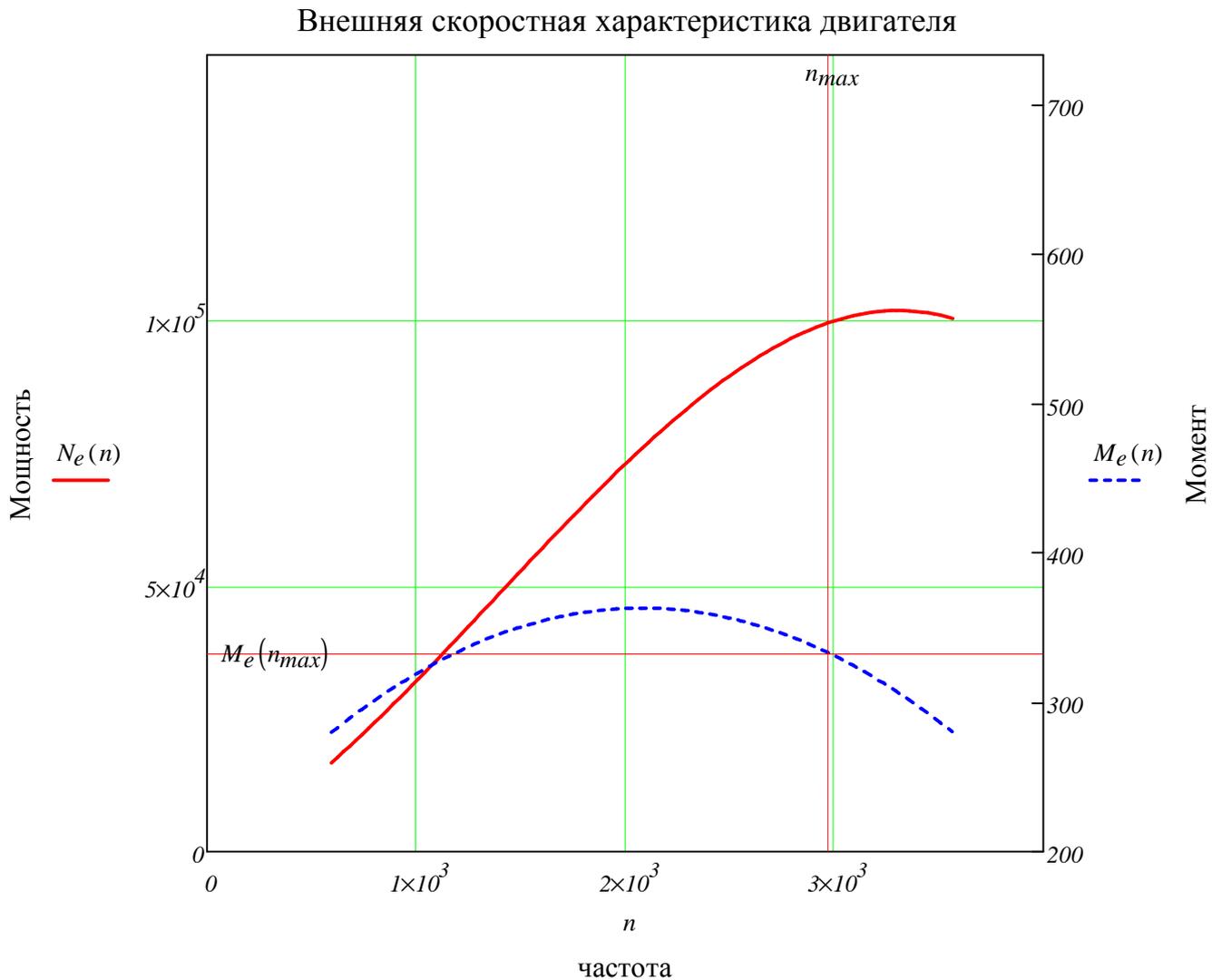
$$M_{e1.2} = \frac{9.95 \cdot N_{e1.2}}{1.2 \cdot n_{max}} = \frac{9.95 \cdot 100343.6}{1.2 \cdot 2975.0} = 279.67 \quad \text{H} \cdot \text{м}$$

Полученные данные сведем в таблицу

при	$N_e(n) =$	$n =$	$M_e(n) =$
	1.672·10 ⁴	595	279.669
	3.982·10 ⁴	1.19·10 ³	332.94
	6.451·10 ⁴	1.785·10 ³	359.575
	8.601·10 ⁴	2.38·10 ³	359.575
	9.955·10 ⁴	2.975·10 ³	332.94
	1.003·10 ⁵	3.57·10 ³	279.669

Вт
 $\frac{\text{об}}{\text{мин}}$

По полученным данным построим график



Кривая удельного расхода для двигателя строится на основании следующих данных:

$$n' = (20 \ 40 \ 60 \ 80 \ 100 \ 110)$$

$$g_{e\%} = (110 \ 100 \ 95 \ 95 \ 100 \ 115)$$

$$n_{\text{мин}}' = (595 \ 1.19 \times 10^3 \ 1.785 \times 10^3 \ 2.38 \times 10^3 \ 2.975 \times 10^3 \ 3.272 \times 10^3)$$

$$g_{e0.2} = 346.5$$

$$g_{e0.8} = 299.25$$

$$g_{e0.4} = 315 \quad \frac{e}{\text{кВт} \cdot \text{ч}} \quad g_{e1} = 315 \quad \frac{e}{\text{кВт} \cdot \text{ч}}$$

$$g_{e0.6} = 299.25$$

$$g_{e1.2} = 362.25$$

Часовой расход топлива для каждого значения частоты вращения коленчатого вала двигателя подсчитывается по формуле:

$$G_T(n) = g(n) \cdot N_e(n) \cdot 10^{-6}$$

$$\text{при } 0.2n_{\text{max}} = 595 \quad \frac{\text{об}}{\text{мин}}$$

$$G_{T0.2} = g_{e0.2} \cdot N_{e0.2} \cdot 10^{-6} = 346.5 \cdot 16723.94 \cdot 10^{-6} = 5.79485 \quad \frac{\text{кг}}{\text{ч}}$$

$$\text{при } 0.4n_{\text{max}} = 1.19 \times 10^3 \quad \frac{\text{об}}{\text{мин}}$$

$$G_{T0.4} = g_{e0.4} \cdot N_{e0.4} \cdot 10^{-6} = 315.0 \cdot 39818.91 \cdot 10^{-6} = 12.543 \quad \frac{\text{кг}}{\text{ч}}$$

$$\text{при } 0.6n_{\text{max}} = 1.785 \times 10^3 \quad \frac{\text{об}}{\text{мин}}$$

$$G_{T0.6} = g_{e0.6} \cdot N_{e0.6} \cdot 10^{-6} = 299.25 \cdot 64506.63 \cdot 10^{-6} = 19.3036 \quad \frac{\text{кг}}{\text{ч}}$$

$$\text{при } 0.8n_{\text{max}} = 2.38 \times 10^3 \quad \frac{\text{об}}{\text{мин}}$$

$$G_{T0.8} = g_{e0.8} \cdot N_{e0.8} \cdot 10^{-6} = 299.25 \cdot 86008.84 \cdot 10^{-6} = 25.7381 \quad \frac{\text{кг}}{\text{ч}}$$

$$\text{при } 1n_{\text{max}} = 2.975 \times 10^3 \quad \frac{\text{об}}{\text{мин}}$$

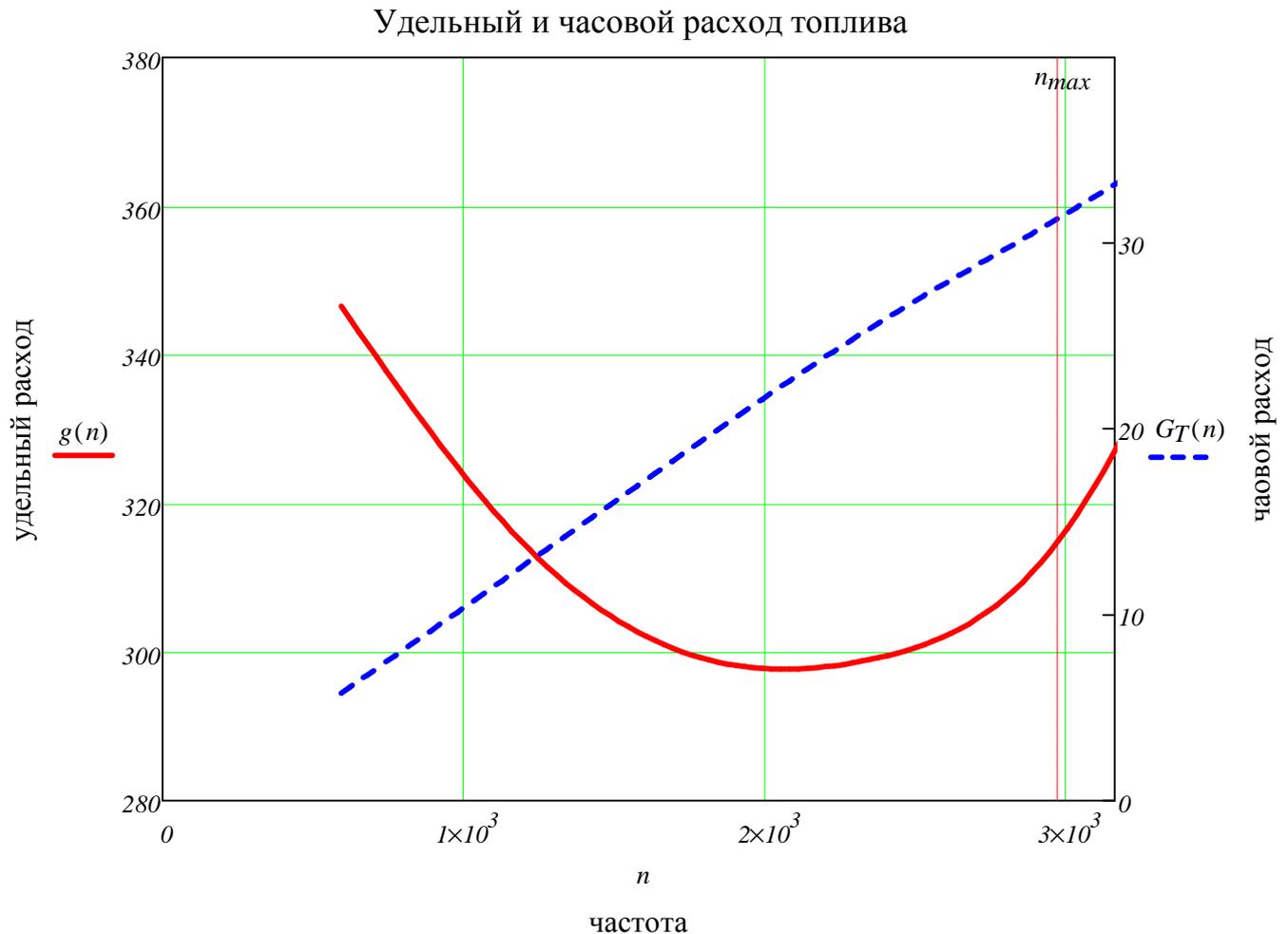
$$G_{T1} = g_{e1} \cdot N_{e1} \cdot 10^{-6} = 315.0 \cdot 99547.27 \cdot 10^{-6} = 31.3574 \quad \frac{\text{кг}}{\text{ч}}$$

$$\text{при } 1.2n_{\text{max}} = 3.57 \times 10^3 \quad \frac{\text{об}}{\text{мин}}$$

$$G_{T1.2} = g_{e1.2} \cdot N_{e1.2} \cdot 10^{-6} = 362.25 \cdot 100343.6 \cdot 10^{-6} = 36.3495 \quad \frac{\text{кг}}{\text{ч}}$$

Составим графики удельного и часового расхода топлива:

$$G_T(n) = g(n) \cdot N_e(n) \cdot 10^{-6}$$



Определение передаточного числа главной передачи

Пользуясь выражением для определения теоретической скорости движения автомобиля

$$V_a = \frac{0.377 \cdot n_{Vmax} \cdot r_k}{i_k \cdot i_0}$$

можно найти передаточное число главной передачи автомобиля.

При движении автомобиля на прямой передаче передаточное число коробки передач $i_k = 1$ а скорость движения V_a будет максимальной, тогда

$$i_0 = \frac{0.377 \cdot n_{Vmax} \cdot r_k}{V_{a,max}}$$

n_{Vmax} - частота вращения коленчатого вала двигателя при максимальной скорости движения автомобиля на прямой передаче;

r_k - расчетный радиус ведущих колес автомобиля, м;

$r_k = \lambda \cdot r_0$ $\lambda = 0.93$ - коэффициент деформации шин грузовых автомобилей.

Радиус шины в свободном состоянии подсчитывается по формуле

$$r_0 = 0.0254 \cdot (0.5 \cdot d + b) \quad (м)$$

d - диаметр обода колеса в дюймах;

b - высота профиля покрышки;

Для данной машины грузоподъемность составляет

$$G_a = 8.093 \times 10^4 \quad Н$$

тогда подберем параметры шины

$$b = 12 \quad \text{дм}$$

$$d = 20 \quad \text{дм}$$

$$\text{Отсюда} \quad r_0 = 0.0254 \cdot (0.5 \cdot d + b) = 0.0254 \cdot (0.5 \cdot 20 + 12) = 0.5588$$

$$r_0 = 0.559 \quad м$$

$$\text{Тогда} \quad r_k = \lambda \cdot r_0 = 0.93 \cdot 0.5588 = 0.52$$

$$r_k = 0.52 \quad м$$

Полученное значение подставляем в формулу:

$$i_0 = \frac{0.377 \cdot n_{max} \cdot r_k}{V_{a,max}} = \frac{0.377 \cdot 2975.0 \cdot 0.52}{85} = 6.861$$

Подбор передаточных чисел коробки передач

Для определения передаточных чисел коробки передач, сначала определим передаточное число на первой, самой низкой передаче.

Передаточное число должно удовлетворять следующим требованиям:

1. обеспечить преодоление повышенных дорожных сопротивлений движению;

2. не вызвать буксования ведущих колес автомобиля при передаче ведущего крутящего момента двигателя.

Эти требования будут выполнены, если максимальная касательная сила тяги автомобиля

$$P_{k,max} = \frac{M_{кр,max} \cdot i_{k1} \cdot i_{k0} \cdot \eta_{тр}}{r_k} \geq G_a \cdot \psi_{max}$$

Отсюда передаточное число коробки передач на первой передаче

$$i_{k1} \geq \frac{G_a \cdot \psi_{max} \cdot r_k}{M_{кр,max} \cdot \eta_{тр1} \cdot i_0}$$

где $\psi = 0.03$ - Приведенный максимальный коэффициент дорожного сопротивления;

$G_a = 8.093 \times 10^4$ - Сила тяжести автомобиля, Н;

$r_k = 0.52$ - радиус качения ведущих колес, м;

$M_{кр,max} = 359.6$ Н · м - максимальный крутящий момент двигателя;

$$\eta_{mp} = 0.95 \quad - \text{ КПД трансмиссии на первой передаче}$$

Найденное передаточное число i_{k1} должно исключать полное буксование ведущих колес, которое может возникнуть при максимальной касательной силе тяги автомобиля. для этого необходимо, чтобы максимальная касательная сила тяги автомобиля, подводимая к колесам, была не меньше или равна максимальной силе сцепления ведущих колес с дорогой, т.е.

$$\frac{M_{кр.маx} \cdot i_{k1} \cdot i_{k0} \cdot \eta_{mp}}{r_k} \geq G_a \cdot \phi \cdot \lambda$$

$$\phi = 0.55 \quad - \text{ коэффициент сцепления ведущих колес с дорогой, принимается в пределах 0.5...0.6}$$

$$\lambda = 0.93 \quad - \text{ коэффициент нагрузки ведущих колес}$$

$$i_{k1} = \frac{\lambda \cdot G_a \cdot \phi \cdot r_k}{M_{кр.маx} \cdot \eta_{mp} \cdot i_0} = \frac{0.93 \cdot 80932.5 \cdot 0.55 \cdot 0.52}{359.6 \cdot 0.95 \cdot 6.861} = 9.184$$

Таким образом, передаточное число первой ступени коробки передач должно лежать в пределах, обуславливающее преодоление автомобилем максимального дорожного сопротивления и отсутствия буксования передних колес.

Зная передаточное число первой ступени коробки передач, переходим к определению передаточных чисел на промежуточных передачах.

Если исходить из условия сохранения постоянного интервала изменения чисел оборотов коленчатого вала двигателя, при разгоне на различных передачах, что обуславливает наибольшую производительность и экономичность автомобиля, то получим ряд передаточных чисел, подчиняющихся закону геометрической прогрессии:

$$\frac{i_{k1}}{i_{k2}} = \frac{i_{k2}}{i_{k3}} = \frac{i_{k3}}{i_{k4}} = \dots = i_k \cdot \left(\frac{z-1}{i_{kz}} \right)$$

откуда

$$i_{k2} = \frac{i_{k1}}{q} \quad i_{k3} = \frac{i_{k2}}{q}$$

$$\text{В частном случае, когда высшая передача является прямой} \quad i_z = 1$$

$$\text{тогда} \quad q = \sqrt[z-1]{i_{k1}} = \sqrt[5-1]{9.184} = 1.741$$

Зная передаточное число первой передачи, остальные передаточные числа коробки передач могут быть найдены по формуле

$$i_k(z) = \frac{i_{k1}}{q^{z-1}}$$

$$i_{k2} = \frac{i_{k1}}{q^{2-1}} = \frac{9.184}{1.741^{2-1}} = 5.275$$

$$i_{k3} = \frac{i_{k1}}{q^{3-1}} = \frac{9.184}{1.741^{3-1}} = 3.03$$

$$i_{k4} = \frac{i_{k1}}{q^{4-1}} = \frac{9.184}{1.741^{4-1}} = 1.74$$

$$i_{k5} = \frac{i_{k1}}{q^{5-1}} = \frac{9.184}{1.741^{5-1}} = 0.9996$$

можно свести все вычисления в таблицу:

передача передаточное число

$z =$	$i_k(z) =$
1	9.184
2	5.275
3	3.03
4	1.74
5	1

Зная передаточное число коробки передач и главной передачи, определяем передаточное число трансмиссии

$$i_{mp}(z) = i_k(z) \cdot i_0$$

$$i_{mp1} = i_{k1} \cdot i_0 = 9.184 \cdot 6.861 = 63.01$$

$$i_{mp2} = i_{k2} \cdot i_0 = 5.275 \cdot 6.861 = 36.19$$

$$i_{mp3} = i_{k3} \cdot i_0 = 3.03 \cdot 6.861 = 20.79$$

$$i_{mp4} = i_{k4} \cdot i_0 = 1.74 \cdot 6.861 = 11.94$$

$$i_{mp5} = i_{k5} \cdot i_0 = 0.9996 \cdot 6.861 = 6.858$$

Полученные данные сведем в таблицу:

Передача Передаточное число трансмиссии

$z =$	$i_{mp}(z) =$
1	63.011
2	36.193
3	20.788
4	11.941
5	6.858

Определим скорость движения автомобиля при постоянной частоте вращения коленчатого вала

$$V_a(z) = \frac{0.377 \cdot n_{max} \cdot r_k}{i_{mp}(z)}$$

$$V_{a1} = \frac{0.377 \cdot n_{max} \cdot r_k}{i_{mp1}} = \frac{0.377 \cdot 2975.0 \cdot 0.52}{63.01} = 9.256 \quad \frac{\text{км}}{\text{ч}}$$

$$V_{a2} = \frac{0.377 \cdot n_{max} \cdot r_k}{i_{mp2}} = \frac{0.377 \cdot 2975.0 \cdot 0.52}{36.19} = 16.12 \quad \frac{\text{км}}{\text{ч}}$$

$$V_{a3} = \frac{0.377 \cdot n_{max} \cdot r_k}{i_{mp3}} = \frac{0.377 \cdot 2975.0 \cdot 0.52}{20.79} = 28.05 \quad \frac{\text{км}}{\text{ч}}$$

$$V_{a4} = \frac{0.377 \cdot n_{max} \cdot r_k}{i_{mp4}} = \frac{0.377 \cdot 2975.0 \cdot 0.52}{11.94} = 48.85 \quad \frac{\text{км}}{\text{ч}}$$

$$V_{a5} = \frac{0.377 \cdot n_{max} \cdot r_k}{i_{mp5}} = \frac{0.377 \cdot 2975.0 \cdot 0.52}{6.858} = 85.04 \quad \frac{\text{км}}{\text{ч}}$$

Полученные данные сведем в таблицу:

Передача Скорость движения

$z =$	$V_a(z) =$
1	9.256
2	16.114
3	28.055
4	48.844
5	85.037

Расчет и построение динамической характеристики автомобиля

Динамической характеристикой автомобиля называют графически выраженную зависимость динамического фактора от скорости движения автомобиля на различных передачах.

Как известно динамический фактор представляет собой отношение избыточной касательной силы к силе тяжести автомобиля:

$$D = \frac{P_k - P_B}{G_a} = \frac{\frac{M_{кр} \cdot i_k \cdot \eta_{mp}}{r_k} - \frac{k \cdot F \cdot V_a^2}{3.6^2}}{G_a}$$

P_k - касательная силы тяги автомобиля, Н;

P_B - сила сопротивления воздуха, Н;

G_a - сила тяжести автомобиля с грузом, Н

k - коэффициент обтекаемости, кг/м³

Величина динамического фактора зависит от характера протекания кривой крутящего момента двигателя, передаточного числа трансмиссии, скорости движения автомобиля и его массы.

Задаемся рядом значений частоты коленчатого вала

$$n' = (20 \ 40 \ 60 \ 80 \ 100 \ 110) \quad \%$$

Для выбранных частот вращения коленчатого вала двигателя подсчитываем величины скоростей автомобиля на каждой передаче по формуле

$$V_a(n, z) = \frac{0.377 \cdot n \cdot r_k}{i_{mp}(z)}$$

на первой передаче:

при $0.2n_{max} = 595$ $\frac{об}{мин}$

$$V_{a1.0.2} = \frac{0.377 \cdot 0.2 \cdot n_{max} \cdot r_k}{i_{mp1}} = \frac{0.377 \cdot 0.2 \cdot 2975.0 \cdot 0.52}{63.01} = 1.851 \quad \frac{км}{ч}$$

при $0.4n_{max} = 1.19 \times 10^3$ $\frac{об}{мин}$

$$V_{a1.0.4} = \frac{0.377 \cdot 0.4 \cdot n_{max} \cdot r_k}{i_{mp1}} = \frac{0.377 \cdot 0.4 \cdot 2975.0 \cdot 0.52}{63.01} = 3.702 \quad \frac{км}{ч}$$

при $0.6n_{max} = 1.785 \times 10^3$ $\frac{об}{мин}$

$$V_{a1.0.6} = \frac{0.377 \cdot 0.6 \cdot n_{max} \cdot r_k}{i_{mp1}} = \frac{0.377 \cdot 0.6 \cdot 2975.0 \cdot 0.52}{63.01} = 5.554 \quad \frac{км}{ч}$$

при $0.8n_{max} = 2.38 \times 10^3$ $\frac{об}{мин}$

$$V_{a1.0.8} = \frac{0.377 \cdot 0.8 \cdot n_{max} \cdot r_k}{i_{mp1}} = \frac{0.377 \cdot 0.8 \cdot 2975.0 \cdot 0.52}{63.01} = 7.405 \quad \frac{км}{ч}$$

при $n_{max} = 2.975 \times 10^3$ $\frac{об}{мин}$

$$V_{a1.1} = \frac{0.377 \cdot n_{max} \cdot r_k}{i_{mp1}} = \frac{0.377 \cdot 2975.0 \cdot 0.52}{63.01} = 9.256 \quad \frac{км}{ч}$$

при $1.2n_{max} = 3.57 \times 10^3$ $\frac{об}{мин}$

$$V_{a1.1.2} = \frac{0.377 \cdot 1.2 \cdot n_{max} \cdot r_k}{i_{mp1}} = \frac{0.377 \cdot 1.2 \cdot 2975.0 \cdot 0.52}{63.01} = 11.11 \quad \frac{км}{ч}$$

на второй передаче:

при $0.2n_{max} = 595$ $\frac{об}{мин}$

$$V_{a2.0.2} = \frac{0.377 \cdot 0.2 \cdot n_{max} \cdot r_k}{i_{mp2}} = \frac{0.377 \cdot 0.2 \cdot 2975.0 \cdot 0.52}{36.19} = 3.223 \quad \frac{\text{км}}{\text{ч}}$$

при $0.4n_{max} = 1.19 \times 10^3$ $\frac{\text{об}}{\text{мин}}$

$$V_{a2.0.4} = \frac{0.377 \cdot 0.4 \cdot n_{max} \cdot r_k}{i_{mp2}} = \frac{0.377 \cdot 0.4 \cdot 2975.0 \cdot 0.52}{36.19} = 6.446 \quad \frac{\text{км}}{\text{ч}}$$

при $0.6n_{max} = 1.785 \times 10^3$ $\frac{\text{об}}{\text{мин}}$

$$V_{a2.0.6} = \frac{0.377 \cdot 0.6 \cdot n_{max} \cdot r_k}{i_{mp2}} = \frac{0.377 \cdot 0.6 \cdot 2975.0 \cdot 0.52}{36.19} = 9.669 \quad \frac{\text{км}}{\text{ч}}$$

при $0.8n_{max} = 2.38 \times 10^3$ $\frac{\text{об}}{\text{мин}}$

$$V_{a2.0.8} = \frac{0.377 \cdot 0.8 \cdot n_{max} \cdot r_k}{i_{mp2}} = \frac{0.377 \cdot 0.8 \cdot 2975.0 \cdot 0.52}{36.19} = 12.89 \quad \frac{\text{км}}{\text{ч}}$$

при $n_{max} = 2.975 \times 10^3$ $\frac{\text{об}}{\text{мин}}$

$$V_{a2.1} = \frac{0.377 \cdot n_{max} \cdot r_k}{i_{mp2}} = \frac{0.377 \cdot 2975.0 \cdot 0.52}{36.19} = 16.12 \quad \frac{\text{км}}{\text{ч}}$$

при $1.2n_{max} = 3.57 \times 10^3$ $\frac{\text{об}}{\text{мин}}$

$$V_{a2.1.2} = \frac{0.377 \cdot 1.2 \cdot n_{max} \cdot r_k}{i_{mp2}} = \frac{0.377 \cdot 1.2 \cdot 2975.0 \cdot 0.52}{36.19} = 19.34 \quad \frac{\text{км}}{\text{ч}}$$

на третьей передаче:

при $0.2n_{max} = 595$ $\frac{\text{об}}{\text{мин}}$

$$V_{a3.0.2} = \frac{0.377 \cdot 0.2 \cdot n_{max} \cdot r_k}{i_{mp3}} = \frac{0.377 \cdot 0.2 \cdot 2975.0 \cdot 0.52}{20.79} = 5.611 \quad \frac{\text{км}}{\text{ч}}$$

при $0.4n_{max} = 1.19 \times 10^3$ $\frac{\text{об}}{\text{мин}}$

$$V_{a3.0.4} = \frac{0.377 \cdot 0.4 \cdot n_{max} \cdot r_k}{i_{mp3}} = \frac{0.377 \cdot 0.4 \cdot 2975.0 \cdot 0.52}{20.79} = 11.22 \quad \frac{\text{км}}{\text{ч}}$$

при $0.6n_{max} = 1.785 \times 10^3$ $\frac{\text{об}}{\text{мин}}$

$$V_{a3.0.6} = \frac{0.377 \cdot 0.6 \cdot n_{max} \cdot r_k}{i_{mp3}} = \frac{0.377 \cdot 0.6 \cdot 2975.0 \cdot 0.52}{20.79} = 16.83 \quad \frac{\text{км}}{\text{ч}}$$

при $0.8n_{max} = 2.38 \times 10^3 \quad \frac{\text{об}}{\text{мин}}$

$$V_{a3.0.8} = \frac{0.377 \cdot 0.8 \cdot n_{max} \cdot r_k}{i_{mp3}} = \frac{0.377 \cdot 0.8 \cdot 2975.0 \cdot 0.52}{20.79} = 22.44 \quad \frac{\text{км}}{\text{ч}}$$

при $n_{max} = 2.975 \times 10^3 \quad \frac{\text{об}}{\text{мин}}$

$$V_{a3.1} = \frac{0.377 \cdot n_{max} \cdot r_k}{i_{mp3}} = \frac{0.377 \cdot 2975.0 \cdot 0.52}{20.79} = 28.05 \quad \frac{\text{км}}{\text{ч}}$$

при $1.2n_{max} = 3.57 \times 10^3 \quad \frac{\text{об}}{\text{мин}}$

$$V_{a3.1.2} = \frac{0.377 \cdot 1.2 \cdot n_{max} \cdot r_k}{i_{mp3}} = \frac{0.377 \cdot 1.2 \cdot 2975.0 \cdot 0.52}{20.79} = 33.66 \quad \frac{\text{км}}{\text{ч}}$$

на четвертой передаче:

при $0.2n_{max} = 595 \quad \frac{\text{об}}{\text{мин}}$

$$V_{a4.0.2} = \frac{0.377 \cdot 0.2 \cdot n_{max} \cdot r_k}{i_{mp4}} = \frac{0.377 \cdot 0.2 \cdot 2975.0 \cdot 0.52}{11.94} = 9.769 \quad \frac{\text{км}}{\text{ч}}$$

при $0.4n_{max} = 1.19 \times 10^3 \quad \frac{\text{об}}{\text{мин}}$

$$V_{a4.0.4} = \frac{0.377 \cdot 0.4 \cdot n_{max} \cdot r_k}{i_{mp4}} = \frac{0.377 \cdot 0.4 \cdot 2975.0 \cdot 0.52}{11.94} = 19.54 \quad \frac{\text{км}}{\text{ч}}$$

при $0.6n_{max} = 1.785 \times 10^3 \quad \frac{\text{об}}{\text{мин}}$

$$V_{a4.0.6} = \frac{0.377 \cdot 0.6 \cdot n_{max} \cdot r_k}{i_{mp4}} = \frac{0.377 \cdot 0.6 \cdot 2975.0 \cdot 0.52}{11.94} = 29.31 \quad \frac{\text{км}}{\text{ч}}$$

при $0.8n_{max} = 2.38 \times 10^3 \quad \frac{\text{об}}{\text{мин}}$

$$V_{a4.0.8} = \frac{0.377 \cdot 0.8 \cdot n_{max} \cdot r_k}{i_{mp4}} = \frac{0.377 \cdot 0.8 \cdot 2975.0 \cdot 0.52}{11.94} = 39.08 \quad \frac{\text{км}}{\text{ч}}$$

при $n_{max} = 2.975 \times 10^3 \quad \frac{\text{об}}{\text{мин}}$

$$V_{a4.1} = \frac{0.377 \cdot n_{max} \cdot r_k}{i_{mp4}} = \frac{0.377 \cdot 2975.0 \cdot 0.52}{11.94} = 48.85 \quad \frac{\text{км}}{\text{ч}}$$

при $1.2n_{max} = 3.57 \times 10^3 \quad \frac{\text{об}}{\text{мин}}$

$$V_{a4.1.2} = \frac{0.377 \cdot 1.2 \cdot n_{max} \cdot r_k}{i_{mp4}} = \frac{0.377 \cdot 1.2 \cdot 2975.0 \cdot 0.52}{11.94} = 58.61 \quad \frac{\text{км}}{\text{ч}}$$

на пятой передаче:

при $0.2n_{max} = 595 \quad \frac{\text{об}}{\text{мин}}$

$$V_{a5.0.2} = \frac{0.377 \cdot 0.2 \cdot n_{max} \cdot r_k}{i_{mp5}} = \frac{0.377 \cdot 0.2 \cdot 2975.0 \cdot 0.52}{6.858} = 17.01 \quad \frac{\text{км}}{\text{ч}}$$

при $0.4n_{max} = 1.19 \times 10^3 \quad \frac{\text{об}}{\text{мин}}$

$$V_{a5.0.4} = \frac{0.377 \cdot 0.4 \cdot n_{max} \cdot r_k}{i_{mp5}} = \frac{0.377 \cdot 0.4 \cdot 2975.0 \cdot 0.52}{6.858} = 34.02 \quad \frac{\text{км}}{\text{ч}}$$

при $0.6n_{max} = 1.785 \times 10^3 \quad \frac{\text{об}}{\text{мин}}$

$$V_{a5.0.6} = \frac{0.377 \cdot 0.6 \cdot n_{max} \cdot r_k}{i_{mp5}} = \frac{0.377 \cdot 0.6 \cdot 2975.0 \cdot 0.52}{6.858} = 51.03 \quad \frac{\text{км}}{\text{ч}}$$

при $0.8n_{max} = 2.38 \times 10^3 \quad \frac{\text{об}}{\text{мин}}$

$$V_{a5.0.8} = \frac{0.377 \cdot 0.8 \cdot n_{max} \cdot r_k}{i_{mp5}} = \frac{0.377 \cdot 0.8 \cdot 2975.0 \cdot 0.52}{6.858} = 68.03 \quad \frac{\text{км}}{\text{ч}}$$

при $n_{max} = 2.975 \times 10^3 \quad \frac{\text{об}}{\text{мин}}$

$$V_{a5.1} = \frac{0.377 \cdot n_{max} \cdot r_k}{i_{mp5}} = \frac{0.377 \cdot 2975.0 \cdot 0.52}{6.858} = 85.04 \quad \frac{\text{км}}{\text{ч}}$$

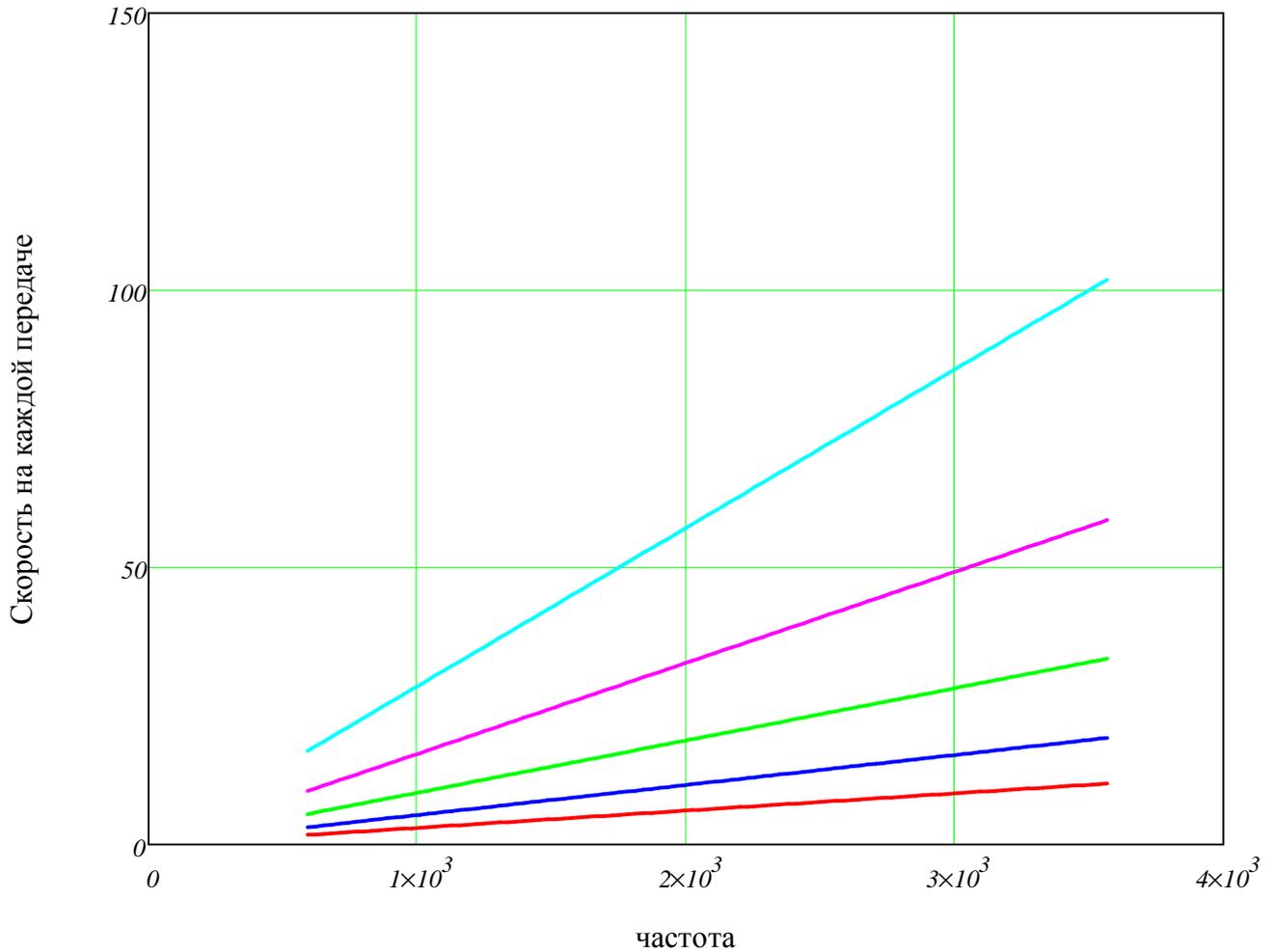
при $1.2n_{max} = 3.57 \times 10^3 \quad \frac{\text{об}}{\text{мин}}$

$$V_{a5.1.2} = \frac{0.377 \cdot 1.2 \cdot n_{max} \cdot r_k}{i_{mp5}} = \frac{0.377 \cdot 1.2 \cdot 2975.0 \cdot 0.52}{6.858} = 102.1 \quad \frac{\text{км}}{\text{ч}}$$

Сведем все полученные данные в таблицу и построим график

$n_i =$	$V_a(n, 1) =$	$V_a(n, 2) =$	$V_a(n, 3) =$	$V_a(n, 4) =$	$V_a(n, 5) =$
595	1.851	3.223	5.611	9.769	17.007
$1.19 \cdot 10^3$	3.702	6.446	11.222	19.537	34.015
$1.785 \cdot 10^3$	5.553	9.669	16.833	29.306	51.022
$2.38 \cdot 10^3$	7.405	12.891	22.444	39.075	68.03
$2.975 \cdot 10^3$	9.256	16.114	28.055	48.844	85.037
$3.57 \cdot 10^3$	11.107	19.337	33.666	58.612	102.044

График зависимости скорости от частоты



Определим величину касательной силы тяги по передачам

$$P_k(n, z) = \frac{M''_e(n) \cdot i_{mp}(z) \cdot \eta_{mp}}{r_k} = 115.0 \cdot 1.74^{-1.0 \cdot z + 1.0} \cdot (0.157 \cdot n + -0.0000376 \cdot n^2 + 200.0)$$

где для первой передачи. $i_{mp1} = 63.01$

-для второй. $i_{mp2} = 36.19$

-для третьей. $i_{mp3} = 20.79$

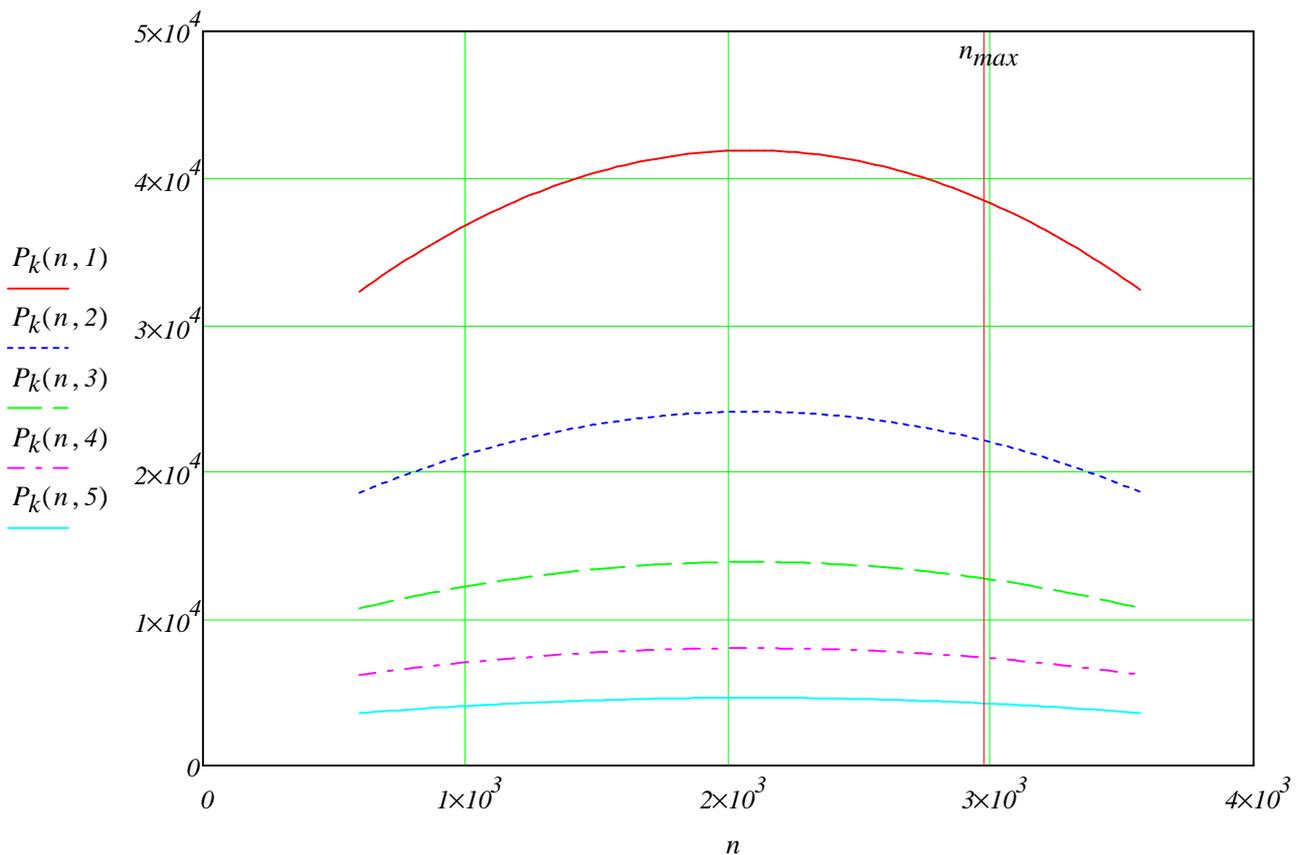
-для четвертой. $i_{mp4} = 11.94$

-для пятой. $i_{mp5} = 6.858$

КПД трансмиссии. $\eta_{mp} = 0.95$

Производя аналогичные расчеты для каждой передачи получим:

при частоте	момента	первая	вторая	третья	четвертая	пятая
$n_i =$	$M''_e(n_i) =$	$P_k(n, 1) =$	$P_k(n, 2) =$	$P_k(n, 3) =$	$P_k(n, 4) =$	$P_k(n, 5) =$
595	279.669	3.221·10 ⁴	1.851·10 ⁴	1.064·10 ⁴	6.115·10 ³	3.514·10 ³
1.19·10 ³	332.94	3.836·10 ⁴	2.205·10 ⁴	1.267·10 ⁴	7.282·10 ³	4.185·10 ³
1.785·10 ³	359.575	4.145·10 ⁴	2.382·10 ⁴	1.369·10 ⁴	7.868·10 ³	4.522·10 ³
2.38·10 ³	359.575	4.148·10 ⁴	2.384·10 ⁴	1.37·10 ⁴	7.874·10 ³	4.525·10 ³
2.975·10 ³	332.94	3.844·10 ⁴	2.209·10 ⁴	1.27·10 ⁴	7.298·10 ³	4.194·10 ³
3.57·10 ³	279.669	3.235·10 ⁴	1.859·10 ⁴	1.068·10 ⁴	6.14·10 ³	3.529·10 ³



Посчитываются значения силы сопротивления воздуха для скоростей движения автомобиля, соответствующих исходным значениям частоты вращения коленчатого вала двигателя по формуле:

$$P_B(n, z) = \frac{k \cdot F \cdot V_a(n, z)^2}{3.6^2} = 0.00000188 \cdot 1.74^{2.0 \cdot z - 2.0} \cdot n^2$$

где $k = 0.7$ - коэффициент обтекаемости автомобиля

$F = 3.6 \text{ м}^2$ - площадь лобовой поверхности автомобиля

на первой передаче:

при $0.2n_{max} = 595 \frac{\text{об}}{\text{мин}}$

$$P_{B1.0.2} = \frac{k \cdot F \cdot V_{a1.0.2}^2}{3.6^2} = \frac{0.7 \cdot 3.6 \cdot 1.851^2}{3.6^2} = 0.6662 \quad H$$

при $0.4n_{max} = 1.19 \times 10^3 \frac{\text{об}}{\text{мин}}$

$$P_{B1.0.4} = \frac{k \cdot F \cdot V_{a1.0.4}^2}{3.6^2} = \frac{0.7 \cdot 3.6 \cdot 3.702^2}{3.6^2} = 2.665 \quad H$$

при $0.6n_{max} = 1.785 \times 10^3 \frac{\text{об}}{\text{мин}}$

$$P_{B1.0.6} = \frac{k \cdot F \cdot V_{a1.0.6}^2}{3.6^2} = \frac{0.7 \cdot 3.6 \cdot 5.554^2}{3.6^2} = 5.998 \quad H$$

при $0.8n_{max} = 2.38 \times 10^3 \frac{\text{об}}{\text{мин}}$

$$P_{B1.0.8} = \frac{k \cdot F \cdot V_{a1.0.8}^2}{3.6^2} = \frac{0.7 \cdot 3.6 \cdot 7.405^2}{3.6^2} = 10.66 \quad H$$

при $n_{max} = 2.975 \times 10^3 \frac{\text{об}}{\text{мин}}$

$$P_{B1.1} = \frac{k \cdot F \cdot V_{a1.1}^2}{3.6^2} = \frac{0.7 \cdot 3.6 \cdot 9.256^2}{3.6^2} = 16.66 \quad H$$

при $1.2n_{max} = 3.57 \times 10^3 \frac{\text{об}}{\text{мин}}$

$$P_{B1.1.2} = \frac{k \cdot F \cdot V_{a1.1.2}^2}{3.6^2} = \frac{0.7 \cdot 3.6 \cdot 11.11^2}{3.6^2} = 24.0 \quad H$$

на второй передаче:

при $0.2n_{max} = 595 \frac{\text{об}}{\text{мин}}$

$$P_{B2.0.2} = \frac{k \cdot F \cdot V_{a2.0.2}^2}{3.6^2} = \frac{0.7 \cdot 3.6 \cdot 3.223^2}{3.6^2} = 2.02 \quad H$$

при $0.4n_{max} = 1.19 \times 10^3 \frac{\text{об}}{\text{мин}}$

$$P_{B2.0.4} = \frac{k \cdot F \cdot V_{a2.0.4}^2}{3.6^2} = \frac{0.7 \cdot 3.6 \cdot 6.446^2}{3.6^2} = 8.079 \quad H$$

при $0.6n_{max} = 1.785 \times 10^3 \frac{\text{об}}{\text{мин}}$

$$P_{B2.0.6} = \frac{k \cdot F \cdot V_{a2.0.6}^2}{3.6^2} = \frac{0.7 \cdot 3.6 \cdot 9.669^2}{3.6^2} = 18.18 \quad H$$

при $0.8n_{max} = 2.38 \times 10^3 \frac{\text{об}}{\text{мин}}$

$$P_{B2.0.8} = \frac{k \cdot F \cdot V_{a2.0.8}^2}{3.6^2} = \frac{0.7 \cdot 3.6 \cdot 12.89^2}{3.6^2} = 32.31 \quad H$$

при $n_{max} = 2.975 \times 10^3 \frac{\text{об}}{\text{мин}}$

$$P_{B2.1} = \frac{k \cdot F \cdot V_{a2.1}^2}{3.6^2} = \frac{0.7 \cdot 3.6 \cdot 16.12^2}{3.6^2} = 50.53 \quad H$$

при $1.2n_{max} = 3.57 \times 10^3 \frac{\text{об}}{\text{мин}}$

$$P_{B2.1.2} = \frac{k \cdot F \cdot V_{a2.1.2}^2}{3.6^2} = \frac{0.7 \cdot 3.6 \cdot 19.34^2}{3.6^2} = 72.73 \quad H$$

на третьей передаче:

при $0.2n_{max} = 595 \frac{\text{об}}{\text{мин}}$

$$P_{B3.0.2} = \frac{k \cdot F \cdot V_{a3.0.2}^2}{3.6^2} = \frac{0.7 \cdot 3.6 \cdot 5.611^2}{3.6^2} = 6.122 \quad H$$

при $0.4n_{max} = 1.19 \times 10^3 \frac{\text{об}}{\text{мин}}$

$$P_{B3.0.4} = \frac{k \cdot F \cdot V_{a3.0.4}^2}{3.6^2} = \frac{0.7 \cdot 3.6 \cdot 11.22^2}{3.6^2} = 24.48 \quad H$$

при $0.6n_{max} = 1.785 \times 10^3 \frac{\text{об}}{\text{мин}}$

$$P_{B3.0.6} = \frac{k \cdot F \cdot V_{a3.0.6}^2}{3.6^2} = \frac{0.7 \cdot 3.6 \cdot 16.83^2}{3.6^2} = 55.08 \quad H$$

при $0.8n_{max} = 2.38 \times 10^3 \frac{\text{об}}{\text{мин}}$

$$P_{B3.0.8} = \frac{k \cdot F \cdot V_{a3.0.8}^2}{3.6^2} = \frac{0.7 \cdot 3.6 \cdot 22.44^2}{3.6^2} = 97.91 \quad H$$

при $n_{max} = 2.975 \times 10^3 \frac{\text{об}}{\text{мин}}$

$$P_{B3.1} = \frac{k \cdot F \cdot V_{a3.1}^2}{3.6^2} = \frac{0.7 \cdot 3.6 \cdot 28.05^2}{3.6^2} = 153.0 \quad H$$

при $1.2n_{max} = 3.57 \times 10^3 \frac{\text{об}}{\text{мин}}$

$$P_{B3.1.2} = \frac{k \cdot F \cdot V_{a3.1.2}^2}{3.6^2} = \frac{0.7 \cdot 3.6 \cdot 33.66^2}{3.6^2} = 6.545 \quad H$$

на четвертой передаче:

при $0.2n_{max} = 595 \frac{\text{об}}{\text{мин}}$

$$P_{B4.0.2} = \frac{k \cdot F \cdot V_{a4.0.2}^2}{3.6^2} = \frac{0.7 \cdot 3.6 \cdot 9.769^2}{3.6^2} = 18.56 \quad H$$

при $0.4n_{max} = 1.19 \times 10^3 \frac{\text{об}}{\text{мин}}$

$$P_{B4.0.4} = \frac{k \cdot F \cdot V_{a4.0.4}^2}{3.6^2} = \frac{0.7 \cdot 3.6 \cdot 19.54^2}{3.6^2} = 74.24 \quad H$$

при $0.6n_{max} = 1.785 \times 10^3 \frac{\text{об}}{\text{мин}}$

$$P_{B4.0.6} = \frac{k \cdot F \cdot V_{a4.0.6}^2}{3.6^2} = \frac{0.7 \cdot 3.6 \cdot 29.31^2}{3.6^2} = 167.0 \quad H$$

при $0.8n_{max} = 2.38 \times 10^3 \frac{\text{об}}{\text{мин}}$

$$P_{B4.0.8} = \frac{k \cdot F \cdot V_{a4.0.8}^2}{3.6^2} = \frac{0.7 \cdot 3.6 \cdot 39.08^2}{3.6^2} = 297.0 \quad H$$

при $n_{max} = 2.975 \times 10^3 \frac{\text{об}}{\text{мин}}$

$$P_{B4.1} = \frac{k \cdot F \cdot V_{a4.1}^2}{3.6^2} = \frac{0.7 \cdot 3.6 \cdot 48.85^2}{3.6^2} = 464.007 \quad H$$

при $1.2n_{max} = 3.57 \times 10^3 \quad \frac{\text{об}}{\text{мин}}$

$$P_{B4.1.2} = \frac{k \cdot F \cdot V_{a4.1.2}^2}{3.6^2} = \frac{0.7 \cdot 3.6 \cdot 58.61^2}{3.6^2} = 667.942 \quad H$$

на пятой передаче:

при $0.2n_{max} = 595 \quad \frac{\text{об}}{\text{мин}}$

$$P_{B5.0.2} = \frac{k \cdot F \cdot V_{a5.0.2}^2}{3.6^2} = \frac{0.7 \cdot 3.6 \cdot 17.01^2}{3.6^2} = 56.26 \quad H$$

при $0.4n_{max} = 1.19 \times 10^3 \quad \frac{\text{об}}{\text{мин}}$

$$P_{B5.0.4} = \frac{k \cdot F \cdot V_{a5.0.4}^2}{3.6^2} = \frac{0.7 \cdot 3.6 \cdot 34.02^2}{3.6^2} = 225.0 \quad H$$

при $0.6n_{max} = 1.785 \times 10^3 \quad \frac{\text{об}}{\text{мин}}$

$$P_{B5.0.6} = \frac{k \cdot F \cdot V_{a5.0.6}^2}{3.6^2} = \frac{0.7 \cdot 3.6 \cdot 51.03^2}{3.6^2} = 506.345 \quad H$$

при $0.8n_{max} = 2.38 \times 10^3 \quad \frac{\text{об}}{\text{мин}}$

$$P_{B5.0.8} = \frac{k \cdot F \cdot V_{a5.0.8}^2}{3.6^2} = \frac{0.7 \cdot 3.6 \cdot 68.03^2}{3.6^2} = 899.905 \quad H$$

при $n_{max} = 2.975 \times 10^3 \quad \frac{\text{об}}{\text{мин}}$

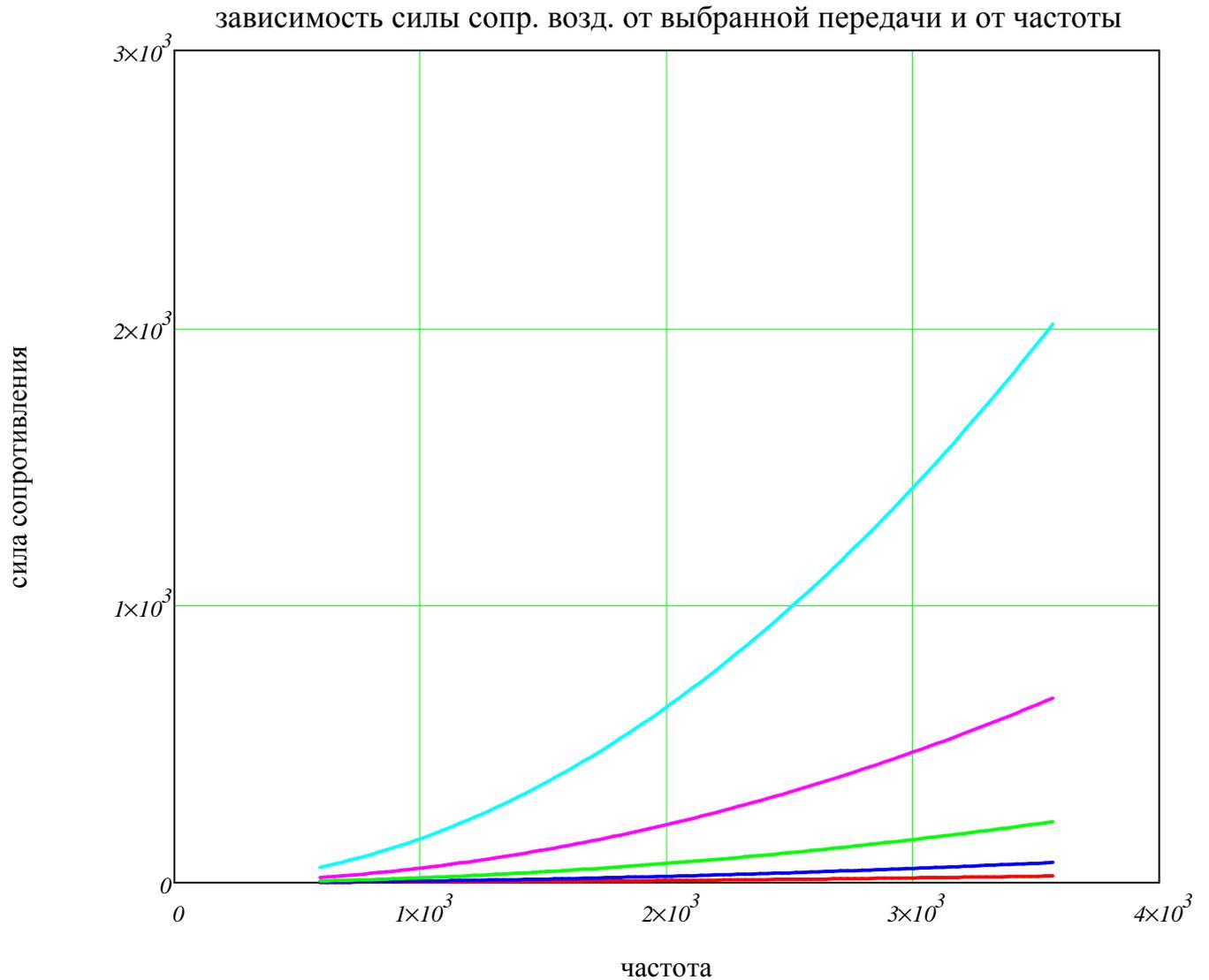
$$P_{B5.1} = \frac{k \cdot F \cdot V_{a5.1}^2}{3.6^2} = \frac{0.7 \cdot 3.6 \cdot 85.04^2}{3.6^2} = 1406.18 \quad H$$

при $1.2n_{max} = 3.57 \times 10^3 \quad \frac{\text{об}}{\text{мин}}$

$$P_{B5.1.2} = \frac{k \cdot F \cdot V_{a5.1.2}^2}{3.6^2} = \frac{0.7 \cdot 3.6 \cdot 102.1^2}{3.6^2} = 2026.97 \quad H$$

Полученные данные сведем в таблицу и построим график

при частоте	передачи:	первая	вторая	третья	четвертая	пятая
$n =$		$P_B(n, 1) =$	$P_B(n, 2) =$	$P_B(n, 3) =$	$P_B(n, 4) =$	$P_B(n, 5) =$
595		0.666	2.015	6.101	18.471	55.922
$1.19 \cdot 10^3$		2.662	8.06	24.403	73.883	223.69
$1.785 \cdot 10^3$		5.99	18.136	54.907	166.238	503.302
$2.38 \cdot 10^3$		10.649	32.241	97.613	295.534	894.758
$2.975 \cdot 10^3$		16.639	50.377	152.521	461.772	1.398 \cdot 10^3
$3.57 \cdot 10^3$		23.96	72.543	219.63	664.951	2.013 \cdot 10^3



Определяем величину динамического фактора для каждой скорости на всех передачах по формуле:

$$D(n, z) = \frac{P_k(n, z) - P_B(n, z)}{G_a}$$

Сведем все имеющиеся данные по касательной силе и силе сопротивления воздуха в таблицу в

соответствии с выбранными передачами а правее образуем таблицу с результатом динамического фактора:

Первая передача:

при касательной силе и силе сопротивления воздуха - динамический фактор

$n =$	$P_k(n, 1) =$	$P_B(n, 1) =$	$D(n, 1) =$
595	3.221·10 ⁴	0.666	0.398
1.19·10 ³	3.836·10 ⁴	2.662	0.474
1.785·10 ³	4.145·10 ⁴	5.99	0.512
2.38·10 ³	4.148·10 ⁴	10.649	0.512
2.975·10 ³	3.844·10 ⁴	16.639	0.475
3.57·10 ³	3.235·10 ⁴	23.96	0.399

Вторая передача:

при касательной силе и силе сопротивления воздуха - динамический фактор

$n =$	$P_k(n, 2) =$	$P_B(n, 2) =$	$D(n, 2) =$
595	1.851·10 ⁴	2.015	0.229
1.19·10 ³	2.205·10 ⁴	8.06	0.272
1.785·10 ³	2.382·10 ⁴	18.136	0.294
2.38·10 ³	2.384·10 ⁴	32.241	0.294
2.975·10 ³	2.209·10 ⁴	50.377	0.272
3.57·10 ³	1.859·10 ⁴	72.543	0.229

Третья передача:

при касательной силе и силе сопротивления воздуха - динамический фактор

$n =$	$P_k(n, 3) =$	$P_B(n, 3) =$	$D(n, 3) =$
595	1.064·10 ⁴	6.101	0.131
1.19·10 ³	1.267·10 ⁴	24.403	0.156
1.785·10 ³	1.369·10 ⁴	54.907	0.168
2.38·10 ³	1.37·10 ⁴	97.613	0.168
2.975·10 ³	1.27·10 ⁴	152.521	0.155
3.57·10 ³	1.068·10 ⁴	219.63	0.129

Четвертая передача:

при касательной силе и силе сопротивления воздуха - динамический фактор

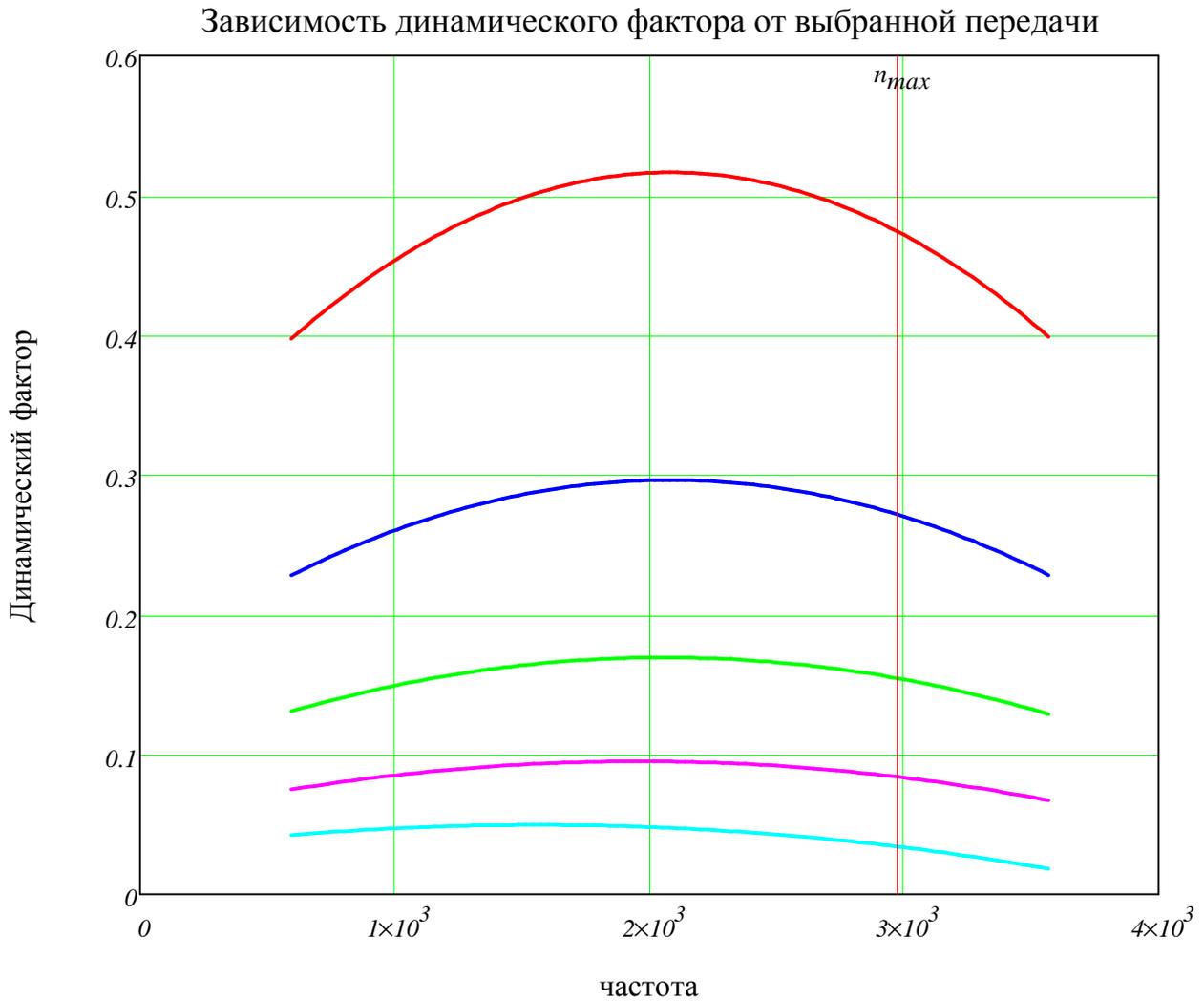
$n =$	$P_k(n, 4) =$	$P_B(n, 4) =$	$D(n, 4) =$
595	6.115·10 ³	18.471	0.075
1.19·10 ³	7.282·10 ³	73.883	0.089
1.785·10 ³	7.868·10 ³	166.238	0.095
2.38·10 ³	7.874·10 ³	295.534	0.094
2.975·10 ³	7.298·10 ³	461.772	0.084
3.57·10 ³	6.14·10 ³	664.951	0.068

Пятая передача:

при касательной силе и силе сопротивления воздуха - динамический фактор

$n =$	$P_k(n, 5) =$	$P_B(n, 5) =$	$D(n, 5) =$
595	$3.514 \cdot 10^3$	55.922	0.043
$1.19 \cdot 10^3$	$4.185 \cdot 10^3$	223.69	0.049
$1.785 \cdot 10^3$	$4.522 \cdot 10^3$	503.302	0.05
$2.38 \cdot 10^3$	$4.525 \cdot 10^3$	894.758	0.045
$2.975 \cdot 10^3$	$4.194 \cdot 10^3$	1.398 \cdot 10^3	0.035
$3.57 \cdot 10^3$	$3.529 \cdot 10^3$	2.013 \cdot 10^3	0.019

Построим график:



Расчет и построение экономической характеристики автомобиля

Топливную экономичность двигателя принято оценивать расходом топлива на 100 км пути. Если известен часовой расход топлива двигателя и скорость движения автомобиля, то расход топлива на 100 км выразится из следующей зависимости:

$$Q_s(n) = \frac{g_e(n) \cdot N_e(n)}{10 \cdot V_a(n, z) \cdot \gamma_T}$$

где $g(n)$ - удельный расход топлива

N_e - мощность двигателя, необходимая для движения автомобиля в заданных условиях, кВт

γ_T - плотность топлива, кг/л

$$\gamma_T = 0.725$$

Эффективная мощность двигателя необходимая для движения автомобиля в заданных дорожных условиях, определяется по формуле

$$N_e = \frac{P_k}{3600 \cdot \eta_{mp}} = \frac{V_a}{3600 \cdot \eta_{mp}} \cdot \left(G_a \cdot \psi + \frac{K}{3.6^2} \cdot F \cdot V_a^2 \right)$$

ψ - приведенный коэффициент дорожного сопротивления

G_a - сила тяжести автомобиля, Н

η_{mp} - КПД трансмиссии

V_a - скорость движения автомобиля, км/ч

k F - соответственно коэффициент обтекаемости и площадь лобовой поверхности автомобиля

Поставляя значение мощности двигателя в уравнение расхода топлива получим:

$$Q_s = \frac{g_e(n)}{3600 \cdot \eta_{mp} \cdot \gamma_T} \cdot \left(G_a \cdot \psi + \frac{k}{3.6^2} \cdot F \cdot V_a^2 \right) \quad \frac{\text{л}}{100\text{км}}$$

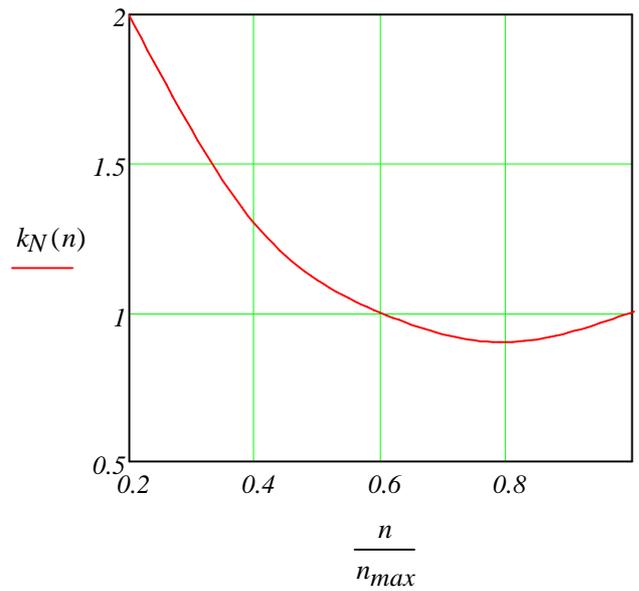
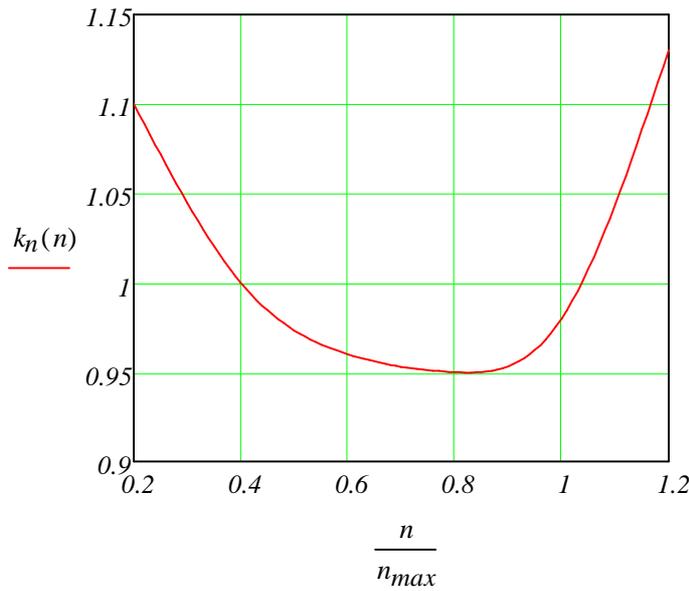
Удельный расход топлива определяем по формуле

$$g_e = K_n \cdot K_N \cdot g_e(N_{emax})$$

где $g_{eN.max} = 315 \frac{\text{г}}{\text{кВт} \cdot \text{ч}}$ - удельный расход топлива при максимальной мощности двигателя по внешней скоростной характеристике

k_n и k_N - коэффициенты, учитывающие соответственно влияние на удельный расход топлива скоростного и нагрузочного режимов работы двигателя

Построим графики коэффициентов



при $\frac{n}{n_{max}} =$

0.2
0.4
0.6
0.8
1
1.2

$k_n(n) =$

1.1
1
0.96
0.95
0.98
1.13

$k_N(n) =$

2
1.3
1
0.9
1
1.1

Подсчитываем удельный и часовой расход топлива для различных скоростей движения автомобиля

$$g_e(n) = k_n(n) \cdot k_N(n) \cdot g_{eN.max} \quad \text{где} \quad g_{eN.max} = 315 \quad \frac{z}{\text{кВт} \cdot \text{ч}}$$

тогда при

$n =$	$g_e(n) =$
595	693
1.19 · 10 ³	409.5
1.785 · 10 ³	302.4
2.38 · 10 ³	269.325
2.975 · 10 ³	308.7
3.57 · 10 ³	391.545

$\frac{\text{об}}{\text{мин}} \qquad \frac{z}{\text{кВт} \cdot \text{ч}}$

Производим построение экономической характеристики автомобиля для заданных дорожных условий

$$Q_s(n) = \frac{g_e(n)}{36000 \cdot \eta_{mp} \cdot \gamma_T} \cdot \left(G_a \cdot \psi + \frac{k}{3.6^2} \cdot F \cdot V_a(n, z)^2 \right)$$

$$\gamma_T = 0.725 \quad k = 0.7 \quad F = 3.6 \text{ м}^2$$

$$\eta_{mp} = 0.95 \quad \psi = 0.03$$

при известных величинах

$n =$

595
1.19·10 ³
1.785·10 ³
2.38·10 ³
2.975·10 ³
3.57·10 ³

$\frac{\text{об}}{\text{мин}}$

$V_a(n, z) =$

17.007
34.015
51.022
68.03
85.037
102.044

$\frac{\text{км}}{\text{ч}}$

на последней передаче

$g_e(n) =$

693
409.5
302.4
269.325
308.7
391.545

$\frac{\text{г}}{\text{кВт} \cdot \text{ч}}$

получим

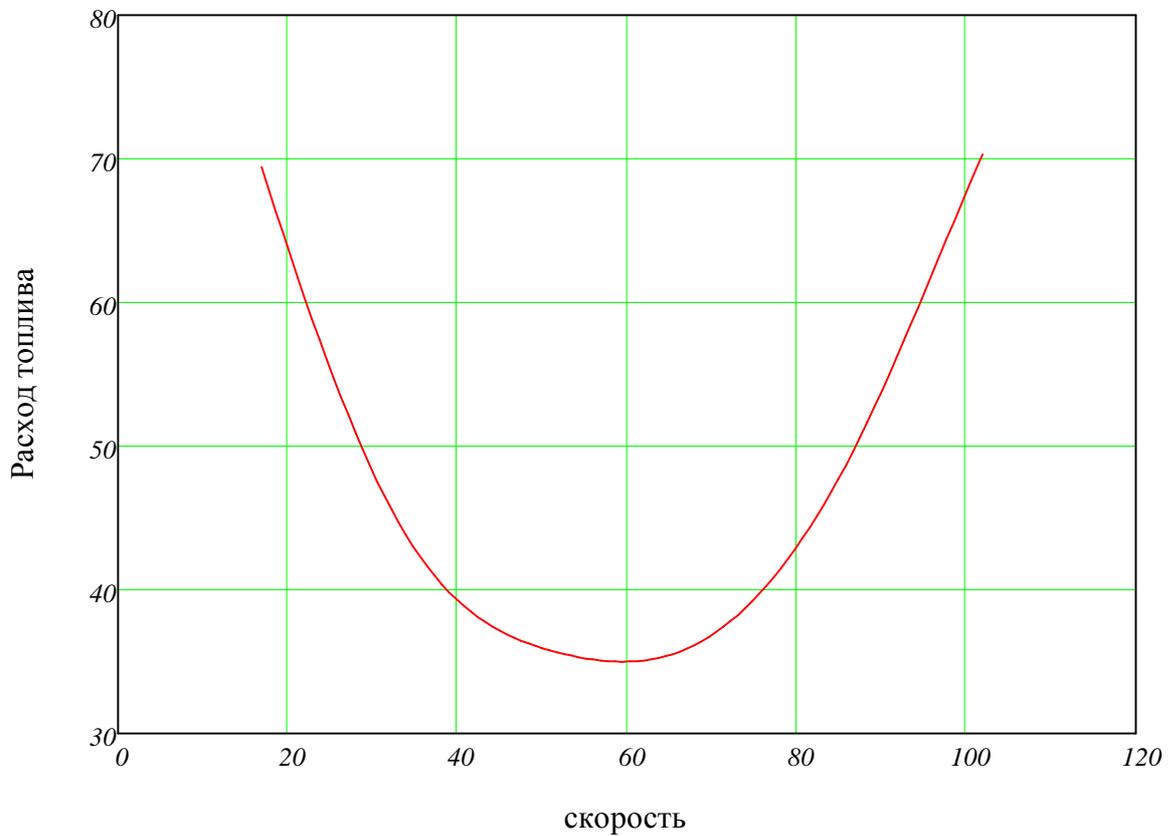
$Q_s(n) =$

69.432
43.815
35.785
36.148
47.734
70.314

$\frac{\text{л}}{100\text{км}}$

Строим график:

Зависимость расхода топлива от скорости



Наиболее экономичная скорость автомобиля будет при скорости 60км/ч

Расход 35 л/100км