



Министерство науки и высшего образования Российской Федерации  
Федеральное государственное бюджетное образовательное  
учреждение высшего образования  
«Московский государственный технический университет  
имени Н.Э. Баумана  
(национальный исследовательский университет)»  
(МГТУ им. Н.Э. Баумана)

---

---

ФАКУЛЬТЕТ «Специальное машиностроение»

КАФЕДРА «Колесные машины»

Отчёт о выполнении домашнего задания 1  
по курсу  
«ТЕОРИЯ ДВИЖЕНИЯ АВТОМОБИЛЯ»  
на тему  
«РАСЧЕТ ТЯГОВО-СКОРОСТНЫХ СВОЙСТВ КОЛЕСНОЙ  
МАШИНЫ»

Студент СМ10-71

\_\_\_\_\_

*(подпись, дата)*

В.Б. Сухоносенко

\_\_\_\_\_

*(Ф.И.О.)*

Преподаватель

\_\_\_\_\_

*(подпись, дата)*

А.Б. Карташов

\_\_\_\_\_

*(Ф.И.О.)*

2025 г.

# СОДЕРЖАНИЕ

1	Исходные данные . . . . .	1
2	Тяговый расчёт . . . . .	3
2.1	Внешняя скоростная характеристика двигателя . . . . .	3
2.2	Динамическая характеристика . . . . .	4
2.3	Мощностная характеристика . . . . .	5
2.4	Ускорение при разных скоростях . . . . .	7
2.5	Получение разгонной характеристики . . . . .	8
3	Расчет трансмиссии с гидropередачей . . . . .	14
	ЗАКЛЮЧЕНИЕ . . . . .	25
	ПРИЛОЖЕНИЕ А Код MATLAB тягового расчета . . . . .	26

# 1 Исходные данные

В домашнем задании необходимо разработать программу расчета и вывода динамического фактора, мощностной характеристики, ускорений, пути и времени разгона КМ до максимальной скорости.

В качестве проверки программы были использованы параметры машин, приведённых в условии домашнего задания. В частности, были взяты характеристики КРАЗ-2571Б1 (механическая трансмиссия, 5 передач в коробке передач, 2 передачи в раздаточной коробке), и ЗИЛ-117 (трансмиссия с гидротрансформатором).

Программа берёт необходимые для расчётов параметры из таблиц Excel (см.таблицы 1.1, 1.2, 1.3)

Таблица 1.1 — Основные параметры колесной машины

Машина	vehicle_name	ЗИЛ-117	ЗИЛ-4104	КРАЗ-257Б1	Валдай 8
Колесная формула	wheel_formula	4x2	4x2	6x4	4x2
Формула управления	control_formul	(1-0)	(1-0)	(1-00)	(1-0)
Число колес	kkol	4	4	10	6
Длина	Lr	5,73	6,34	9,64	6,913
Ширина	Br	2,07	2,09	2,65	2,3
Высота	Ha	1,52	1,5	2,67	3,575
Колесная база	BAZA	3,3	3,88	5,05	3,31
Колея	lkolp	1,6	1,64	1,95	1,74
Лобовая площадь	Flob	2,52	2,51	7,12	4,9764
Кэф. Аэродинамической силы	cx	0,5	0,5	1,12	0,68
Масса собственная	Msobstv	2880	3335	10270	3722
Масса полная	Ma	3255	3800	22500	7490
Расстояние ц.м. до первой оси	lc1	0,51	0,53	0,59	2,15
Высота ц.м.	hc	0,19	0,15	0,27	1,3
Двигатель	engine_name	ЗИЛ-114	ЗИЛ-4104	ЯМЗ-238	G21B
ГДТ	gdt_name	ГТ-ЗИЛ-114	ГТ-ЗИЛ-114	нет_гдт	нет_гдт
U согласующей передачи	usp	1	1	1	1
Ui раздаточной(делителя)	urk	[1]	[1]	[2.28 1.23]	1
Ui Коробки передач	ukp	[2.02 1.42 1.0]	[2.02 1.42 1]	[5.26 2.9 1.52 1 0.66]	[5.05 2.78 1.59 1 0.807 0.643]
U Заднего хода	uzad	1,42	1,42	5,48	4,383
U Главной передачи	ugp	3,62	3,62	8,21	6,6
U Колесного редуктора	ukr	1	1	1	1
КПД трансмиссии	kpdt	0,92	0,92	0,82	0,91
ШИНА	wheel_name	213-381	235-380	320-508P	215/75R17.5

Таблица 1.2 — Задание параметров двигателя

Двигатель	engine_name	ЗИЛ-4104	ЯМЗ-238	G21B
Обороты мин.	ndvsmín		1500	1100 750
Обороты макс.	ndvsmax		4500	2100 3200
Обороты макс.мощность	nNmax		4500	2100 3000
Обороты макс. Момент	nMmax		2500	1500 1850
Макс. Момент	Mdvs_max		601,6	784,8 420
Момент макс. Мощности	Mdvs_Nmax		501,3	716,1 формула
Макс. Мощность	Ndvs_max		231,8	158,2 110
Массив оборот	no	[1500 2000 2500 3000 3500 4000 4500]	[1100:100:2100]	формула
Массив момент	Mdvs	[481.3 580.2 601.6 601.6 583.4 549.7 501.3]	[755.4 765.2 774.9 784.8 784.8 776.9 770.1 761.3 747.5 735.8 716.1]	ларин
Момент инерции двигателя	Jdv		0,4	2,5 0,46

Таблица 1.3 — Параметры ГДТ

ГДТ	gdt_name	нет_гдт	ГТ-ЗИЛ-114
Точки передаточных чисел	igt		0 [0:0.1:1]
Точки лямбда	lamNz		0 [7 6.8 6.25 6 5.5 5 4.3 3.5 3.1 2.75 2.1]
Точки Кгт	Ket		0 [2.15 1.97 1.82 1.68 1.54 1.4 1.3 1.22 1.1 1 0.96]

Таблица 1.4 — Параметры колеса

Шина	wheel_name	213-381	235-380	320-508P	215/75R17.5
Радиус статический	rst	371	371	530	383,5
Момент инерции шины	Jsh	2,8	2,8	16	3,8
Момент инерции колеса	Jsho	3,22	3,22	19,18	4,56

## 2 Тяговый расчёт

Графики тяговых характеристик грузовика построены помощью программы MATLAB.

Расчет для трансмиссии с гидротрансформатором и без отличается тем, что для трансмиссии с гидротрансформатором необходимо предварительно рассчитать внешнюю скоростную характеристику системы ДВС-ГДТ. После этого эта характеристика используется аналогично тому, как использовалась бы ВСХ двигателя машины без гидротрансформатора.

### 2.1 Внешняя скоростная характеристика двигателя

Внешняя скоростная характеристика двигателя даётся в домашнем задании рядом точек в координатах момент-обороты.

В случае наличия такого набора данных, например для двигателя G21B, приходится использовать приближение. В (2.1) для оценки крутящего момента двигателя  $M_e$  при соответствующих оборотах коленчатого вала используются значения максимальной мощности и максимального момента:

$$M_e = M_{maxN} \left[ a + b \frac{n_e}{n_{maxN}} - c \left( \frac{e}{n_{maxN}} \right)^2 \right], \quad (2.1)$$

где  $M_{maxN} = 9554 N_{max} / n_{maxN}$ ;

$a, b, c$  – коэффициенты, зависящие от коэффициентов приспособляемости двигателя по числу оборотов  $k_{dvN}, k_{dvM}$ ;

$n_e$  – частота вращения коленчатого вала двигателя;

$n_{maxN}$  – частота вращения коленчатого вала двигателя, при котором достигается максимальная мощность  $N_{max}$ .

В случае КРАЗ-257Б1 и ЗИЛ-117 момент задан таблицей значений, использовать приближение не можно.

Мощность двигателя при заданных оборотах вычисляется по (2.2):

$$N_e = M_e \frac{30}{\pi} n_e \quad (2.2)$$

Зависимости  $M_e(n_e), N_e(n_e)$  являются внешней скоростной характеристикой двигателя (показаны на рисунке 2.1 для КРАЗ-257Б1).

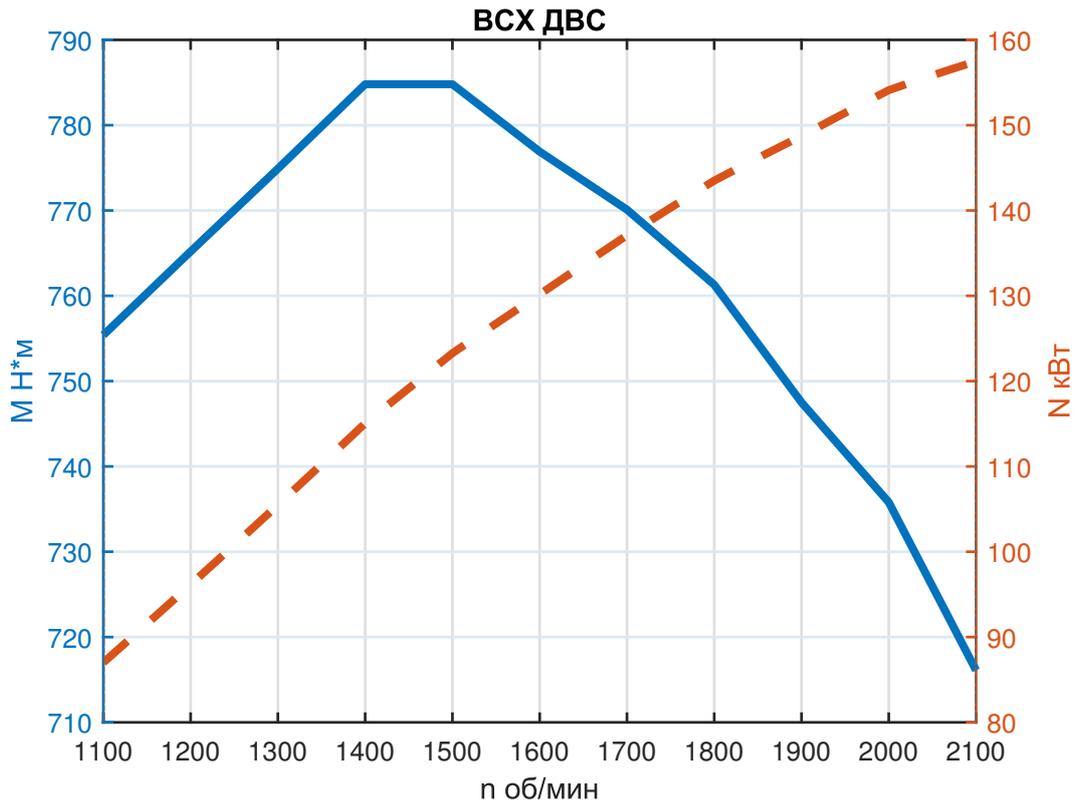


Рисунок 2.1 — ВСХ двигателя ЯМЗ-238 (сплошная линия – момент, пунктир – мощность)

## 2.2 Динамическая характеристика

Зависимость динамического фактора  $D(v)$  от скорости движения определяется из (2.3):

$$D = (P_{\text{км}} - P_w) / P_z \quad (2.3)$$

где  $P_{\text{км}} = M_e k_N u_i \eta_i / r_{k0}$  - полная окружная сила на ведущих колёсах, которая пересчитывается из момента двигателя при данных оборотах с учётом коэффициента снимаемой мощности  $k_N u_i$ , передаточного числа трансмиссии на выбранной передаче  $u_i = u_{ГП} u_{КП_i}$  и КПД трансмиссии  $\eta_{\text{тр}}$ ;

$P_w = c_x \rho F_{\text{лоб}} v^2$  - сила сопротивления воздуха, зависящая от коэффициента сопротивления воздуха  $c_x$ , плотности воздуха  $\rho$ , площади лобовой проекции колёсной машины  $F_{\text{лоб}}$ ;

$P_z$  - вертикальная нагрузка, приходящаяся на колёса (при движении по прямой горизонтальной поверхности равна силе тяжести колёсной машины).

На рисунке 2.2 показан график динамического фактора колёсной машины.

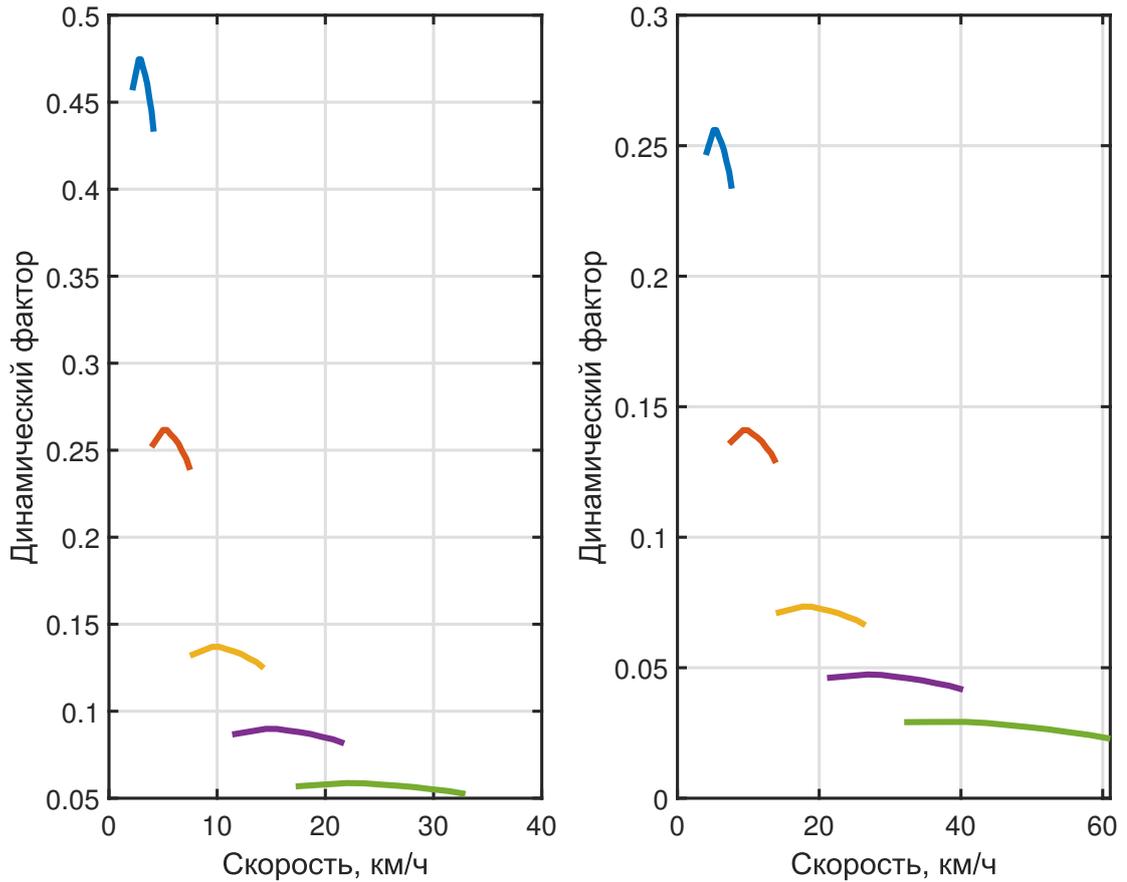


Рисунок 2.2 — Динамический фактор при разной передаче в раздаточной коробке

### 2.3 Мощностная характеристика

Мощностная характеристика должна отображать изменение поступающей к колёсам мощности при различных передаточных числах в трансмиссии. Мощность, подводимая к колёсам при  $i$ -й включенной передаче вычисляется по формуле (2.4)

$$N_{\text{км}} = N_e k_N \eta_{\text{тp}i} \quad (2.4)$$

где  $k_N$  - коэффициент снимаемой мощности двигателя;

$\eta_{\text{тp}i}$  - коэффициент полезного действия трансмиссии на  $i$ -й передаче.

Мощность сопротивлений определяется по (2.5):

$$N_c = N_f + N_w = v \cdot (P_f + P_w) \quad (2.5)$$

где  $N_f$  - мощность силы сопротивления трению качению;

$P_f$  - сила сопротивления качению;

$v$  - скорость движения грузовика.

Сила сопротивления качению считается по (2.6):

$$P_f = f(1 + k_v v^2)mg \quad (2.6)$$

где  $f$  - коэффициент сопротивления качению;

$k_v$  - коэффициент скоростных потерь, принят равным  $7 \cdot 10^{-4}$ .

Скорость определяется из частоты вращения двигателя с персчётом на передаточное число трансмиссии по (2.7):

$$v = 2\pi n_e r_k / (60 u_{\text{тpи}}) \quad (2.7)$$

где  $r_k$  - радиус качения колеса, в данной работе принимается равным 97% от свободного радиуса колеса;

График  $N_{\text{км}}(v)$  представлен на рисунке 2.3.

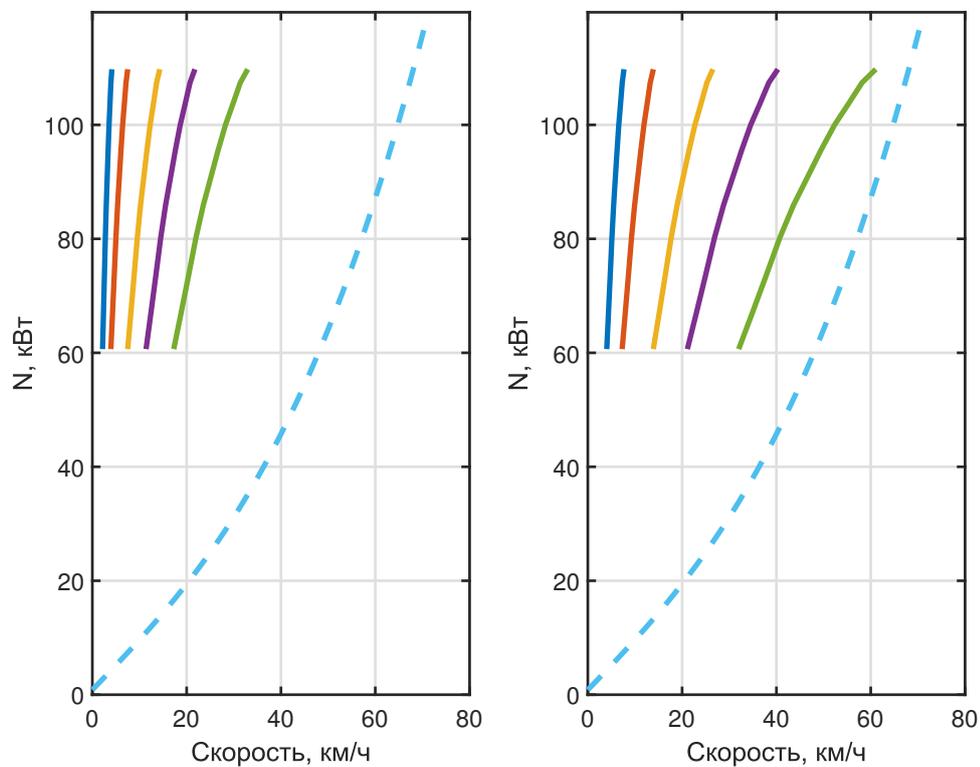


Рисунок 2.3 — Мощностная характеристика

## 2.4 Ускорение при разных скоростях

Из уравнения силового баланса сила инерции на разгон КМ (при движении горизонтальной опорной поверхности), рассчитывается по (2.8):

$$P_{\text{ин}} = ma\delta = P_{\text{км}} - P_f - P_w \quad (2.8)$$

где  $a$  - ускорение колёсной машины;

$\delta$  - коэффициент учёта вращающихся масс, учитывающий момент инерции двигателя и колёс и зависящий от выбранной передачи, связанный с приведением масс и моментов инерций:

$$\delta = 1 + \frac{J_{\text{дв}} u_{\text{тр}}^2 \eta_{\text{тр}} + \sum_{j=1}^4 J_k}{mr_k^2} \quad (2.9)$$

где  $J_{\text{дв}}$  - момент инерции двигателя;

$u_{\text{тр}}$  - передаточное число трансмиссии;

$J_k$  - момент инерции колеса.

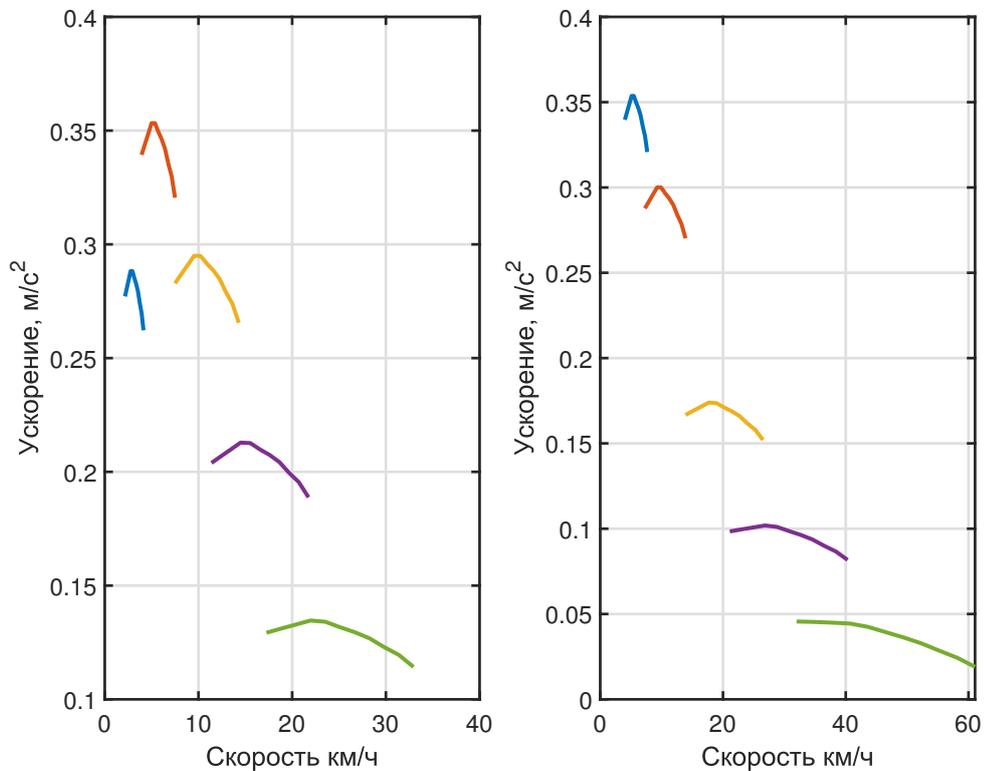


Рисунок 2.4 — Кривые ускорения

## 2.5 Получение разгонной характеристики

Разгонная характеристика построена с помощью алгоритма Simulink (см. рисунок 2.5)

Ускорение определялось из уравнения (2.8). Критерием переключения передачи являлось приближение частоты вращения двигателя к его максимальному значению. Во время переключения передачи алгоритм приравнял полную окружную силу  $P_{км}$  к нулю, коэффициент вращающихся масс при переключении вычислял по (2.10):

$$\delta_{\text{переключения}} = 1 + \frac{\sum_1^4 J_k}{mr_k^2} \quad (2.10)$$

Результаты расчёта алгоритма для КРАЗ-257Б1 показаны на рисунках 2.6–2.12. Преимущество расчёта в Simulink заключается в том, что модель легко поменять, а решатель имеет регулируемый переменный шаг. Благодаря этому решение происходит более точно и быстро.

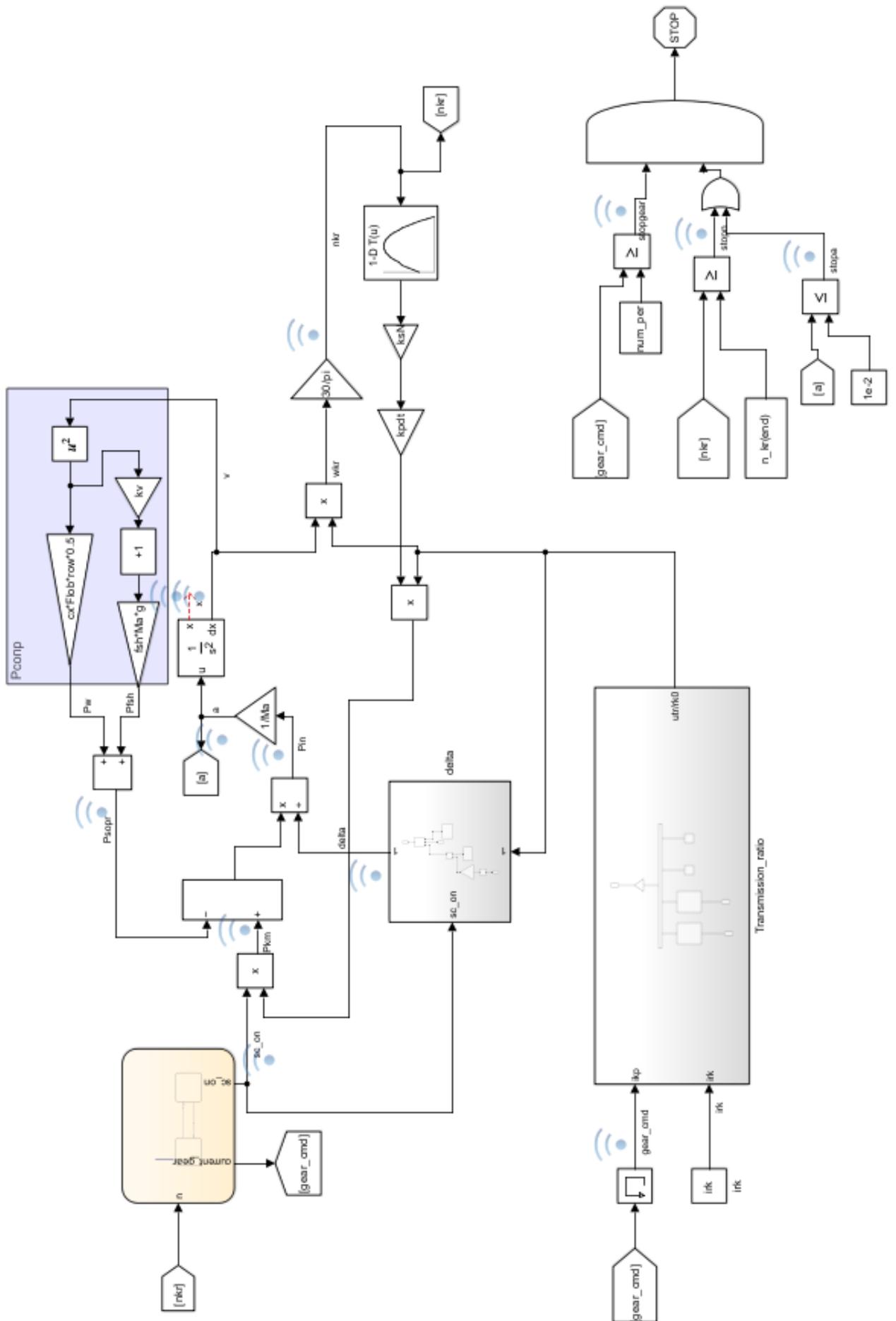


Рисунок 2.5 — Блок для расчета разгонной характеристики в Simulink

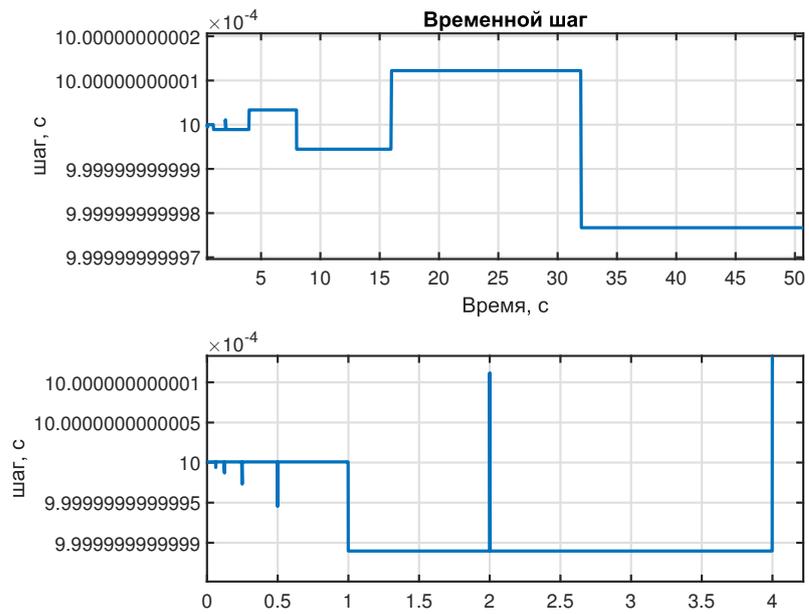


Рисунок 2.6 — Временной шаг решателя (КРАЗ)

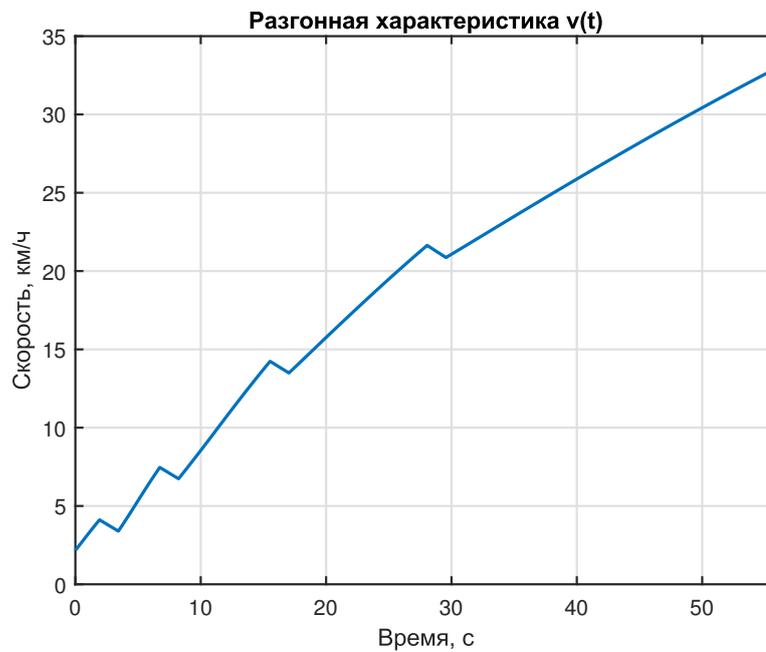


Рисунок 2.7 — Разгонная характеристика (КРАЗ)

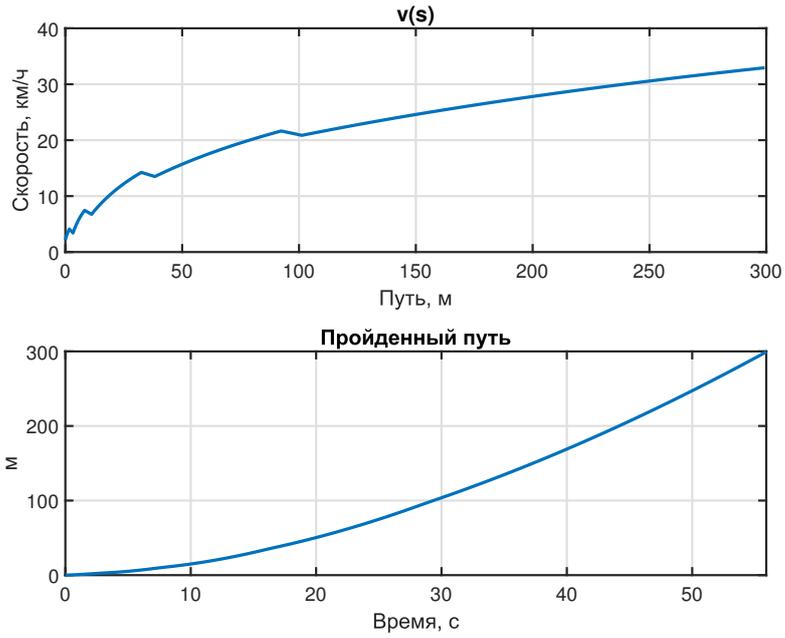


Рисунок 2.8 — Скорость от пути и пройденный путь (КРАЗ)

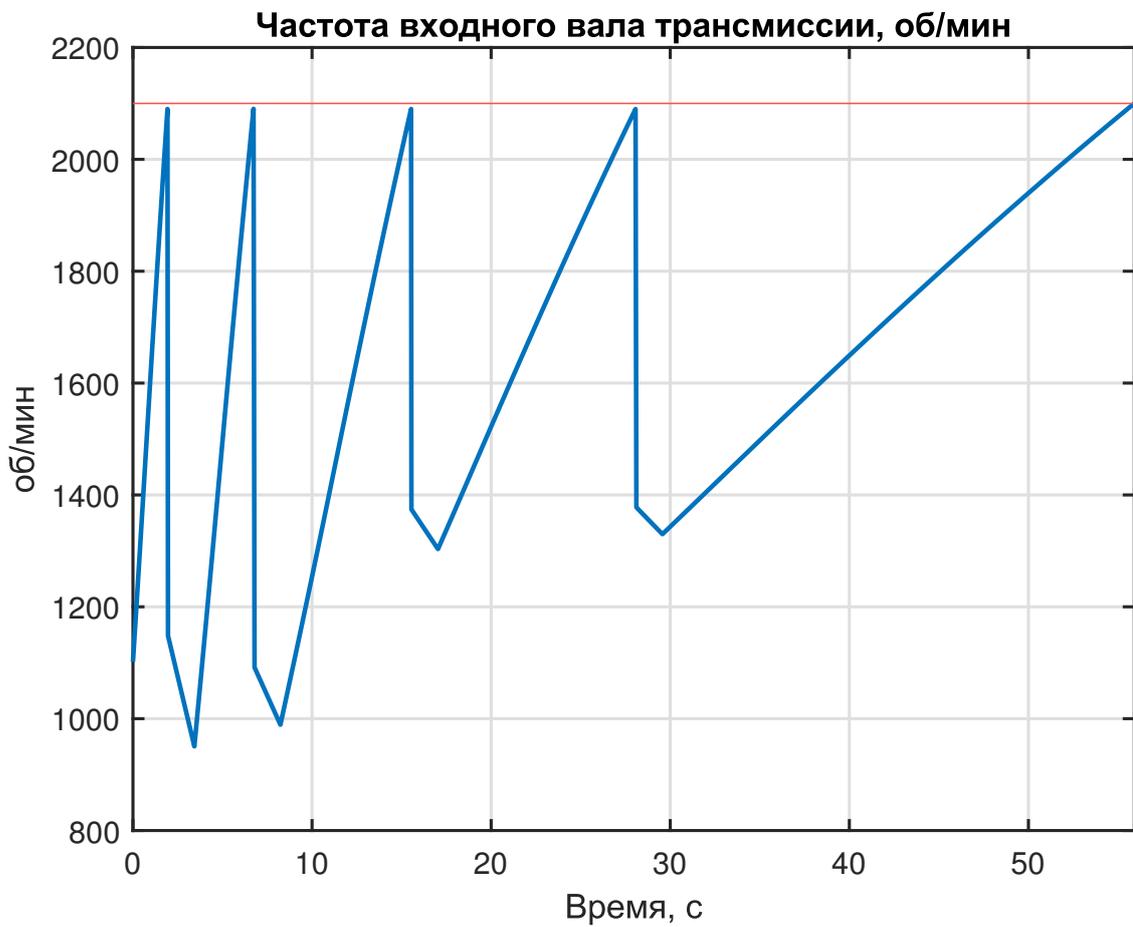


Рисунок 2.9 — Частота входного вала трансмиссии (КРАЗ)

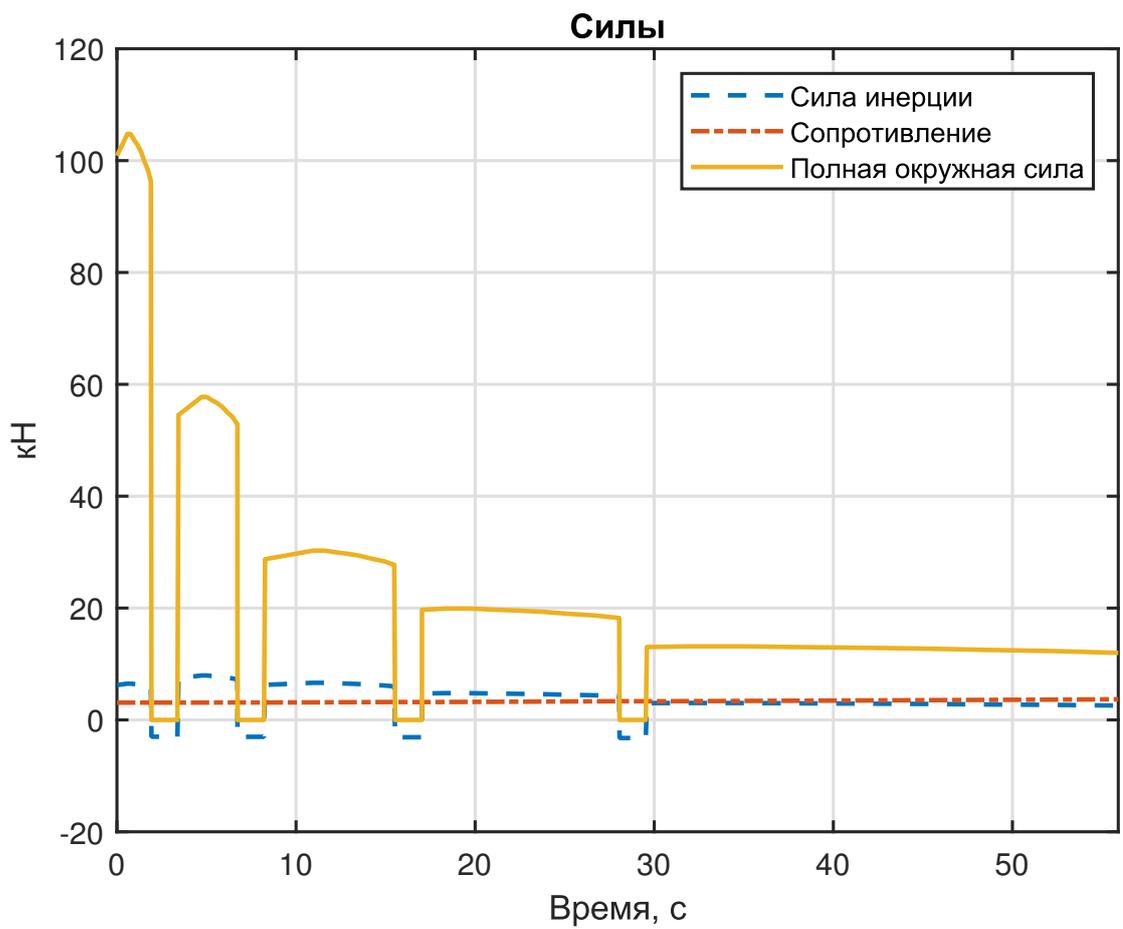


Рисунок 2.10 — Силы из уравнения движения (КРАЗ)

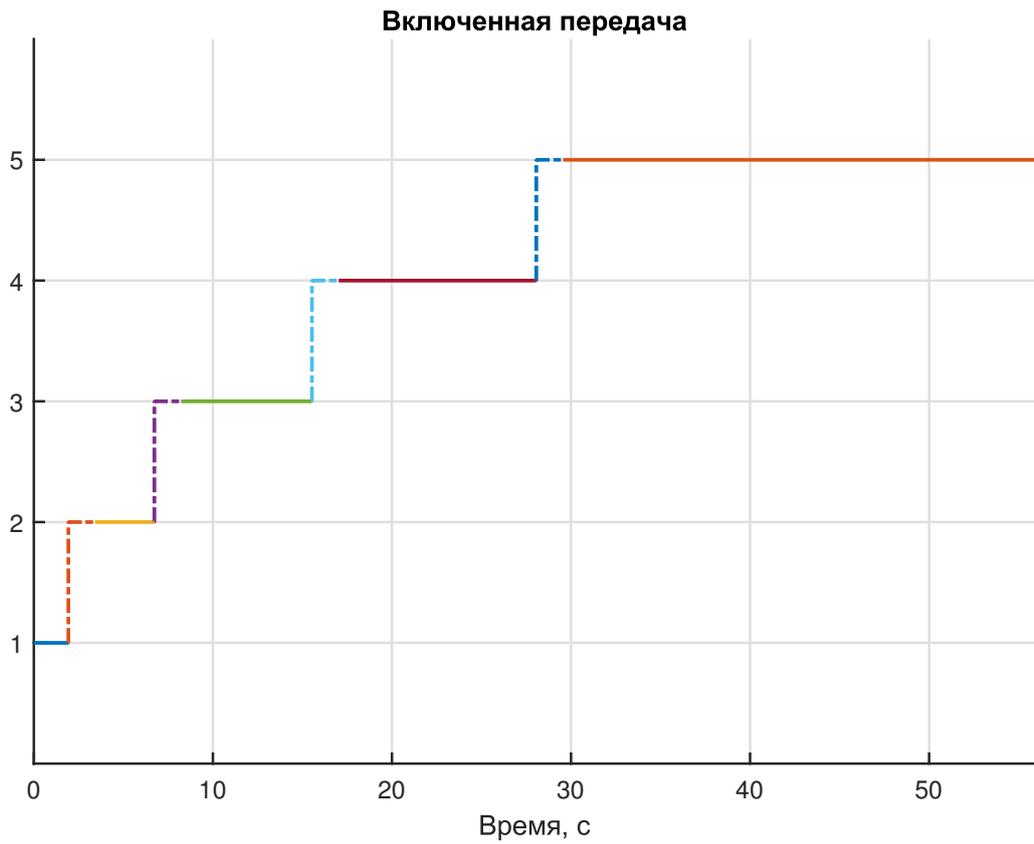


Рисунок 2.11 — Включенная передача (КРАЗ)

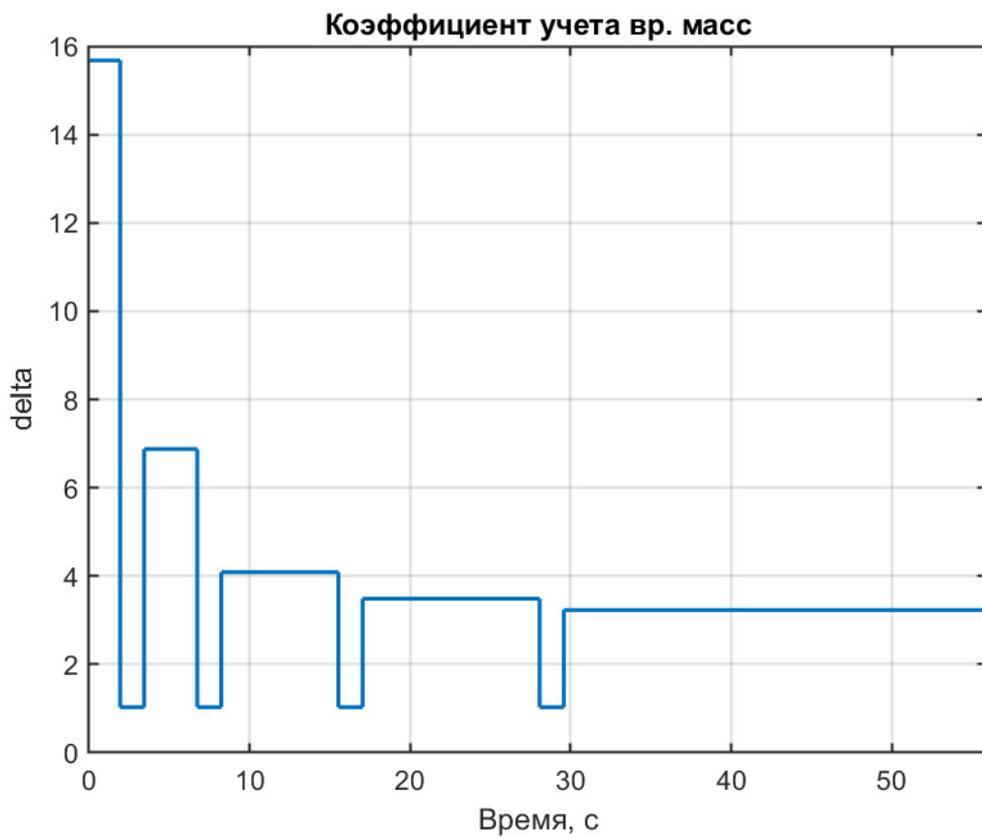


Рисунок 2.12 — Коэффициент учета вращающихся масс (КРАЗ)

### 3 Расчет трансмиссии с гидropередачей

Для ЗИЛ-117 ВСХ двигателя показан на рисунке 3.1.

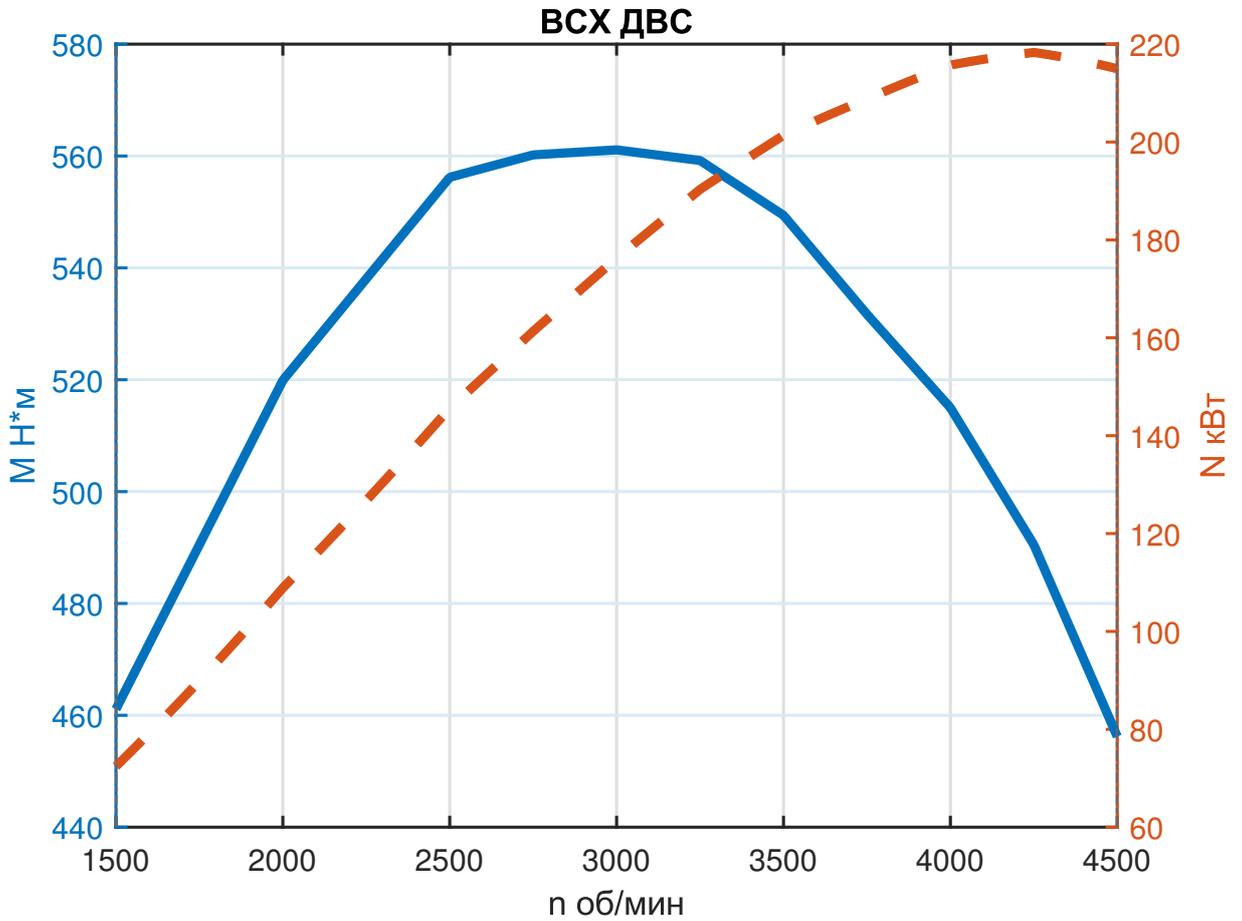


Рисунок 3.1 — ВСХ двигателя ЗИЛ-114 (сплошная линия – момент, пунктир – мощность)

Характеристики гидротрансформатора  $K(i), \lambda_n(i), \eta(i)$  даны по условию (см. рисунок 3.2).

Уравнения, описывающие поведение двигателя и гидротрансформатора:

$$\begin{cases} J_e \dot{\omega}_e = M_e - \lambda_{\text{нас}}(i) n_{\text{нас}}^2 \\ J_{\text{тур}} \dot{\omega}_{\text{тур}} = K(i) \lambda_{\text{нас}}(i) (n_{\text{тур}}/i)^2 - M_{\text{сопр}} \\ i = \omega_{\text{тур}}/\omega_e \end{cases} \quad (3.1)$$

(Если имеется согласующая передача, вместо  $\omega_e$  нужно записать частоту согласующей передачи, вместо  $J_e$ , который является приведенным к валу двигателя моментом инерции, записать момент инерции, приведённый к выходному валу согласующей передачи)

Для получения ВСХ нужно определить, при каких условиях двигатель вращается с постоянной скоростью. Это происходит при условии, что момент, подводимый к насосному колесу, равен моменту, с которым насосное колесо сопротивляется вращению.

Программа строит внешнюю скоростную характеристику двигателя  $M_e(n_e)$  (при наличии согласующей передачи она пересчитывается на выходной вал согласующей передачи) и характеристику насосного колеса - параболу  $M_{нас}(n_{нас}) = \lambda_{нас}(i)n_{нас}^2$ . При прозрачной передаче  $\lambda_{нас}(i) = f(i)$ , поэтому строится семейство парабол для  $i \in [0,1]$  - см. рисунок 3.3.

На полученном графике каждому  $i$  соответствует точка пересечения ВСХ двигателя и характеристики момента на насосном колесе. Таким образом, пересчитав частоту насосного колеса на частоту турбинного, можно получить характеристику  $M_{тур}(n_{тур}) = M_{тур}(in_{нас}) = K(i)M_{нас}(n_{нас})$ . Данная характеристика показана на рисунке 3.4.

Рисунок 3.5 Показывает, как получается характеристика момента на турбинном колесе - Момент двигателя не зависит от  $i$ . При разгоне состояние гидротрансформатора и двигателя двигаются по соответствующим поверхностям до пересечения.

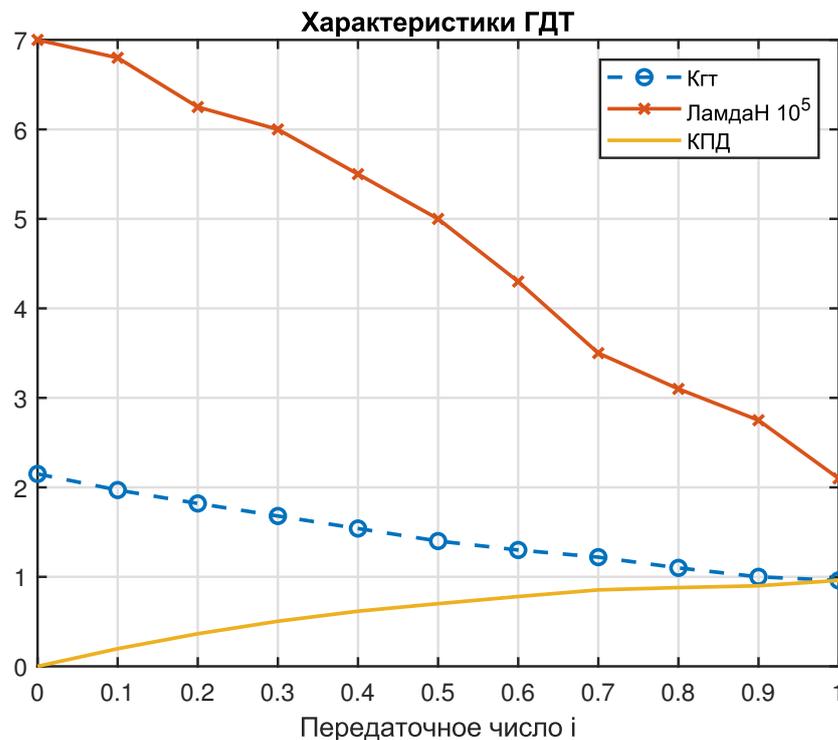


Рисунок 3.2 — Характеристика ГТ-ЗИЛ-114

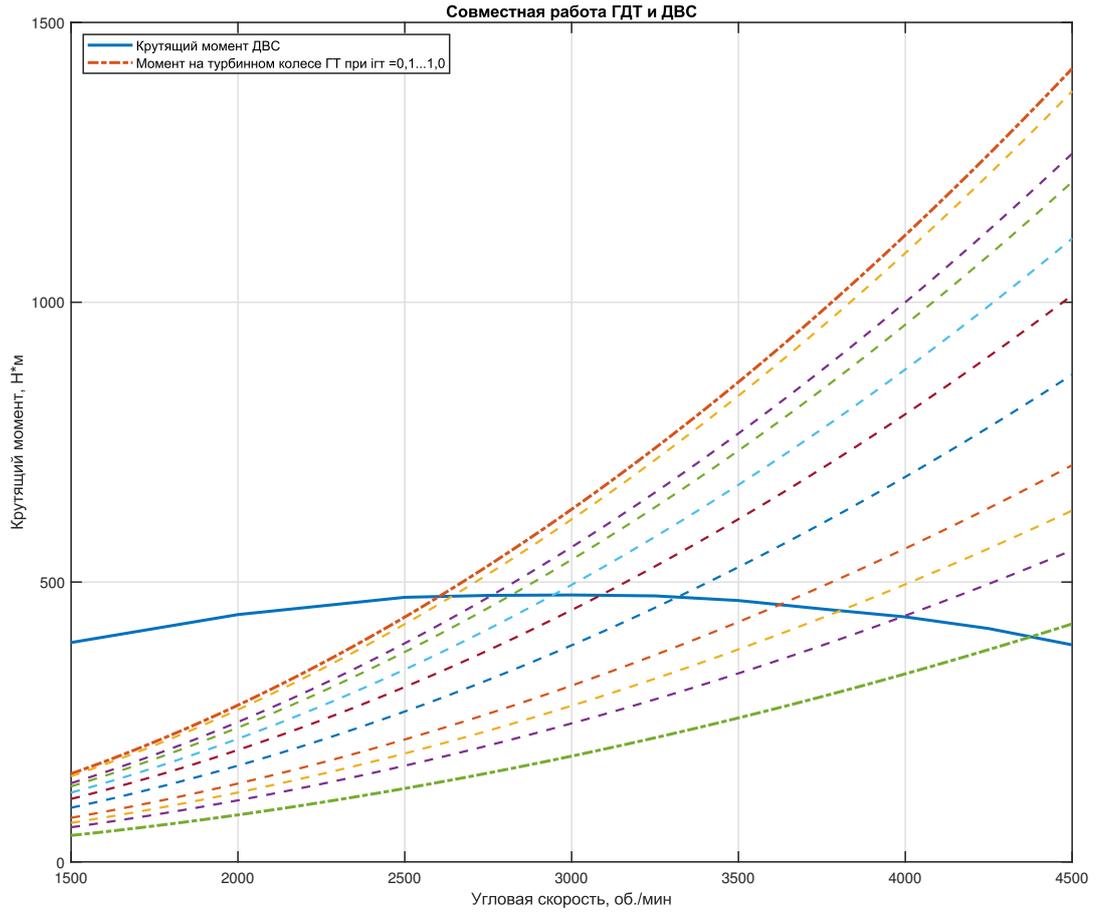


Рисунок 3.3 — Совместная работа согласующей передачи и ГДТ

Далее в тяговый расчет и разгонную характеристику вставляется характеристика момента на турбинном колесе вместо ВСХ двигателя.

Единственное различие заключается в расчете коэффициента учета вращающихся масс. В силу отсутствия значений  $\frac{d\omega_{нас}}{d\omega_{тур}}$ , по коэффициенту прозрачности ГДТ выбирался коэффициент  $a$ , использованный в (3.2)

$$\delta = 1 + \frac{(J_{дв-нас}a + J_{тур})u_tr^2\eta + \sum J_k i}{mr_k^2} \quad (3.2)$$

Для ЗИЛ-117 результаты приведены на рисунках 3.6 – 3.15.

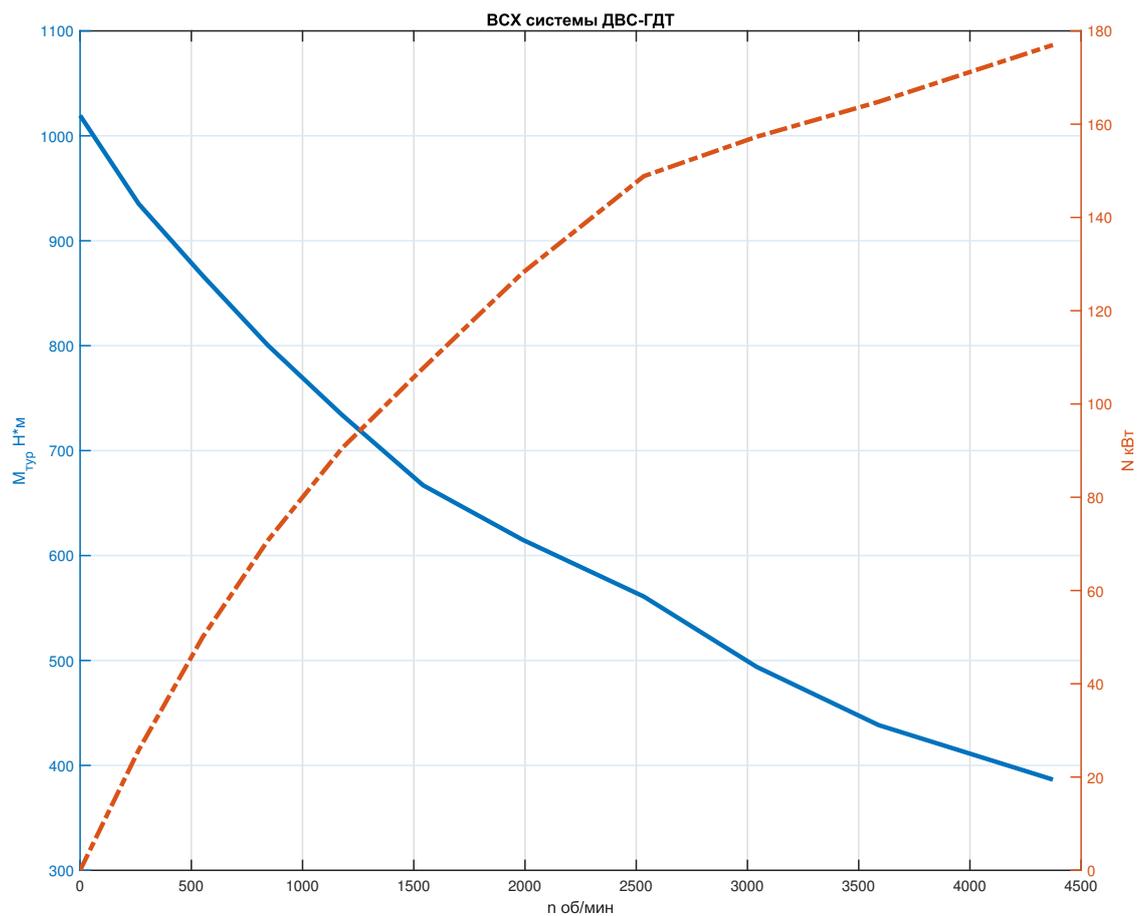


Рисунок 3.4 — "ВСХ" турбинного колеса (сплошная линия – момент, пунктир – мощность)

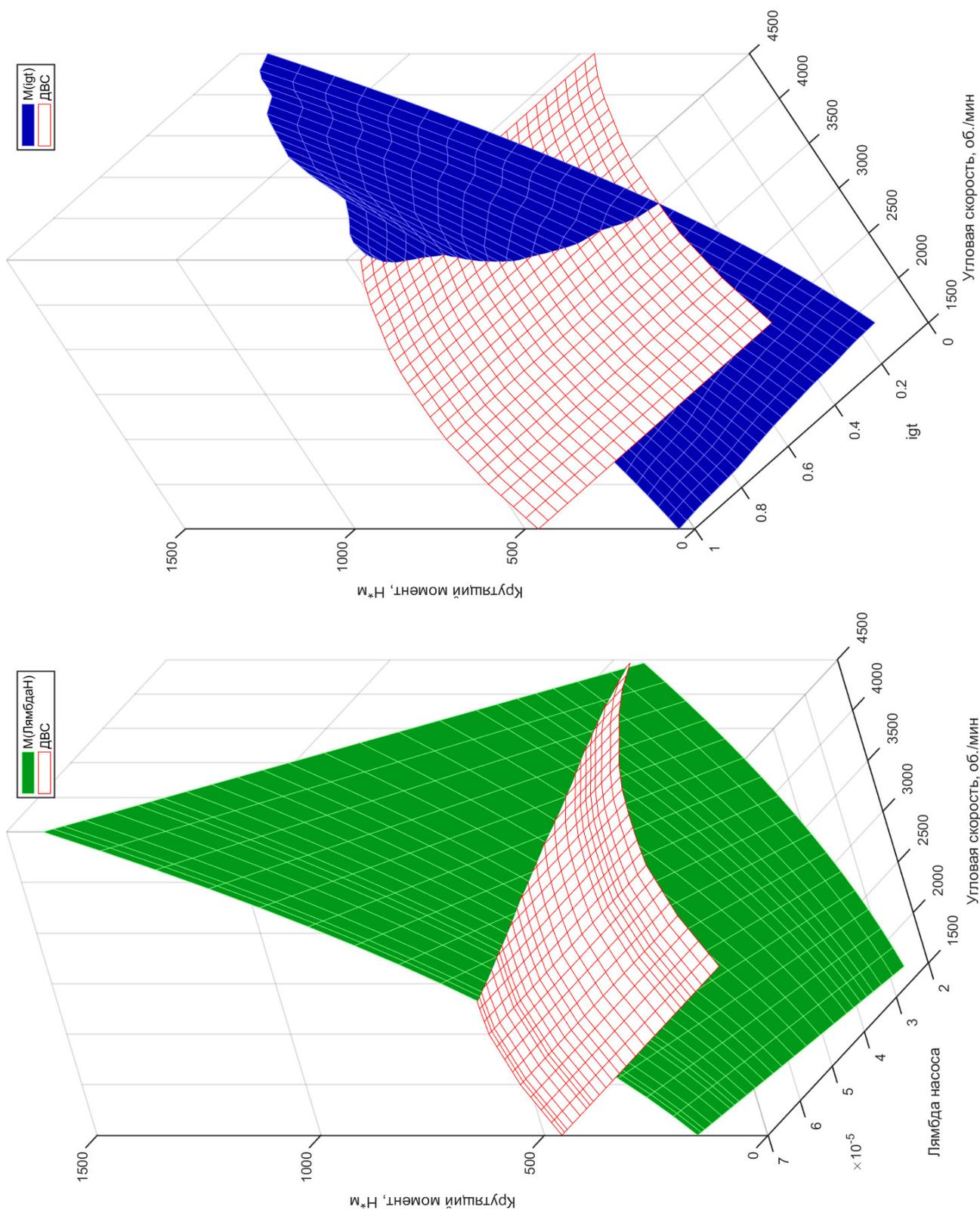


Рисунок 3.5 — Пересечение поверхностей ВСХ двигателя и характеристики насоса

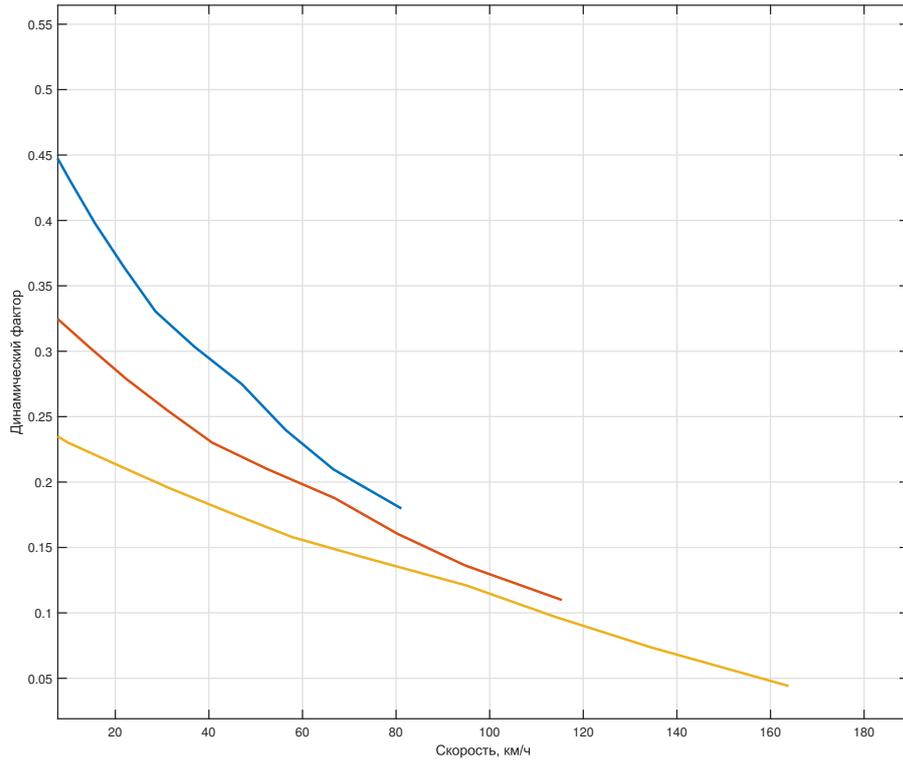


Рисунок 3.6 — Динамический фактор

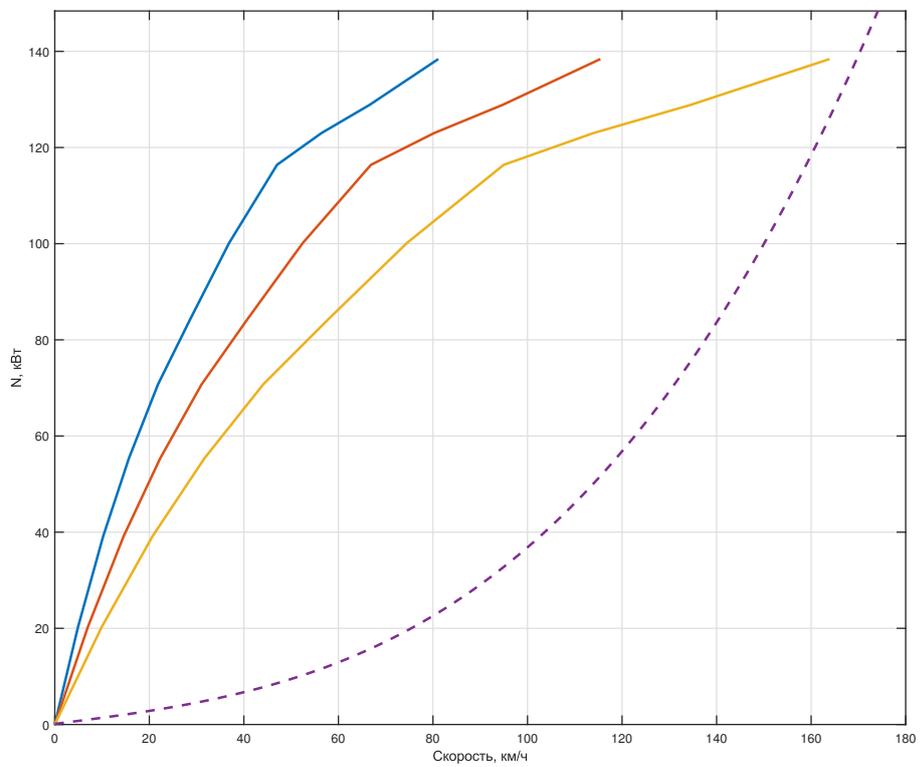


Рисунок 3.7 — Мощностная характеристика

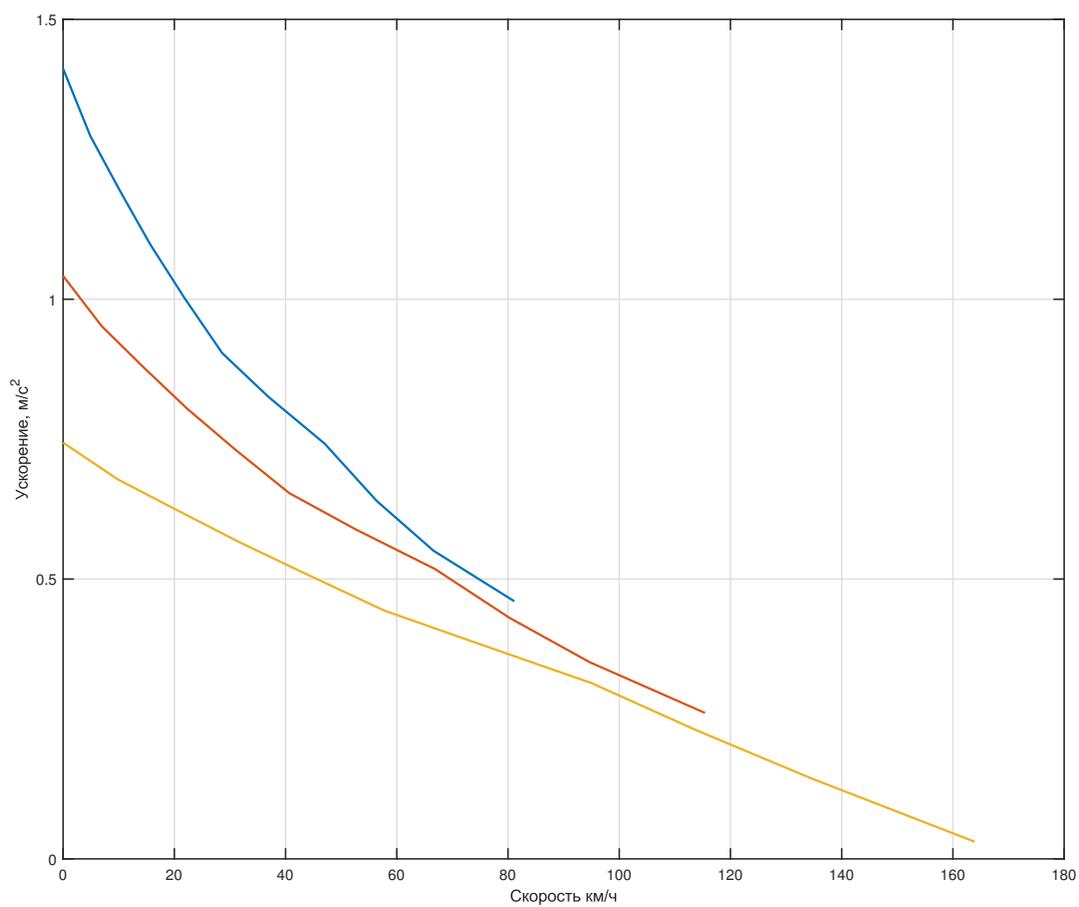


Рисунок 3.8 — Кривые ускорения

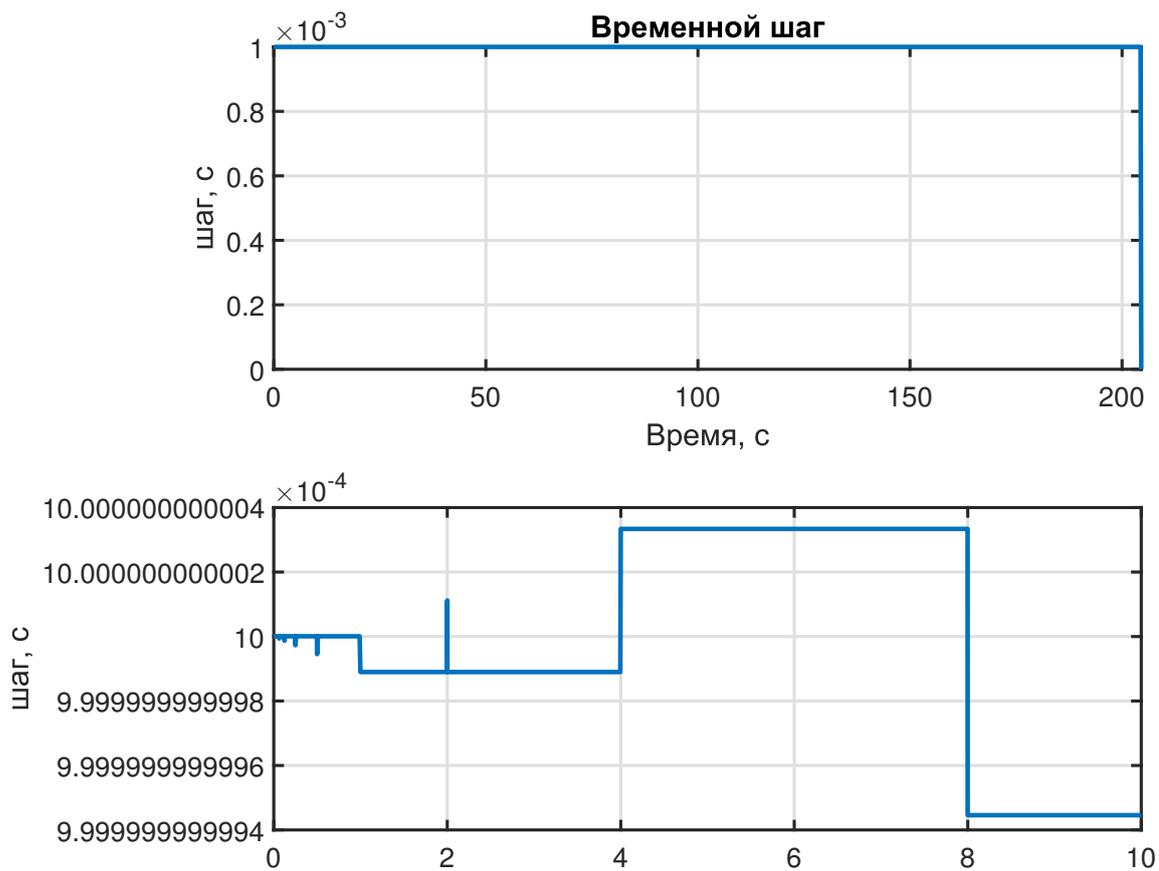


Рисунок 3.9 — Временной шаг решателя (ЗИЛ-117)

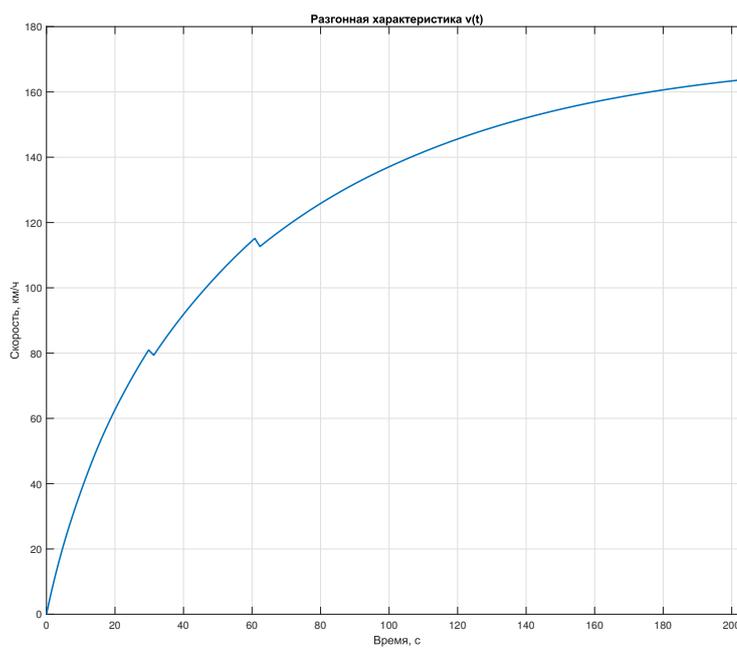


Рисунок 3.10 — Разгонная характеристика (ЗИЛ-117)

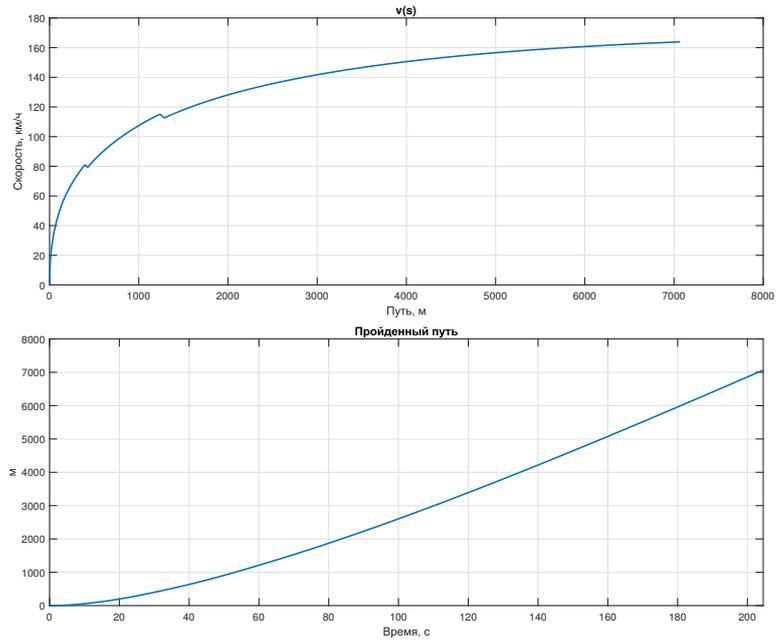


Рисунок 3.11 — Скорость от пути и пройденный путь (ЗИЛ-117)

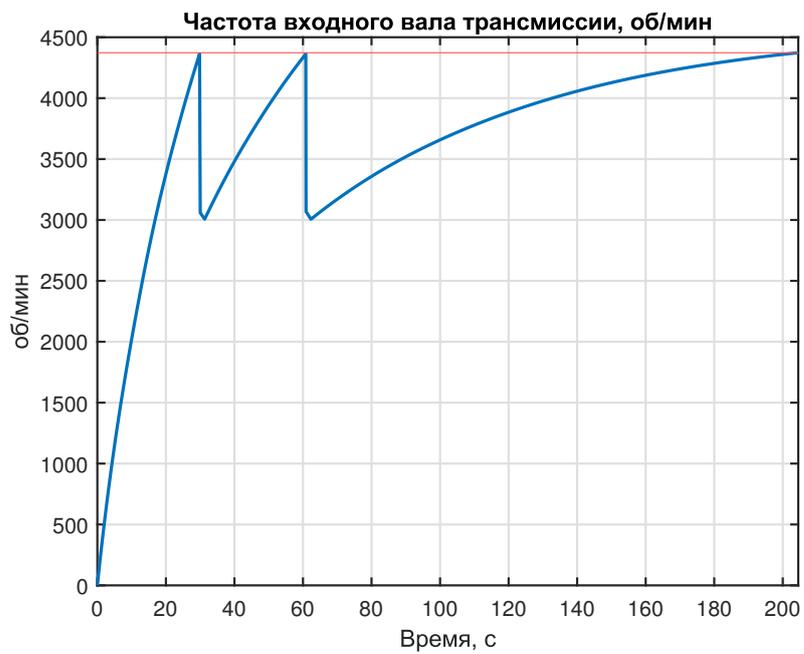


Рисунок 3.12 — Частота входного вала трансмиссии (ЗИЛ-117)

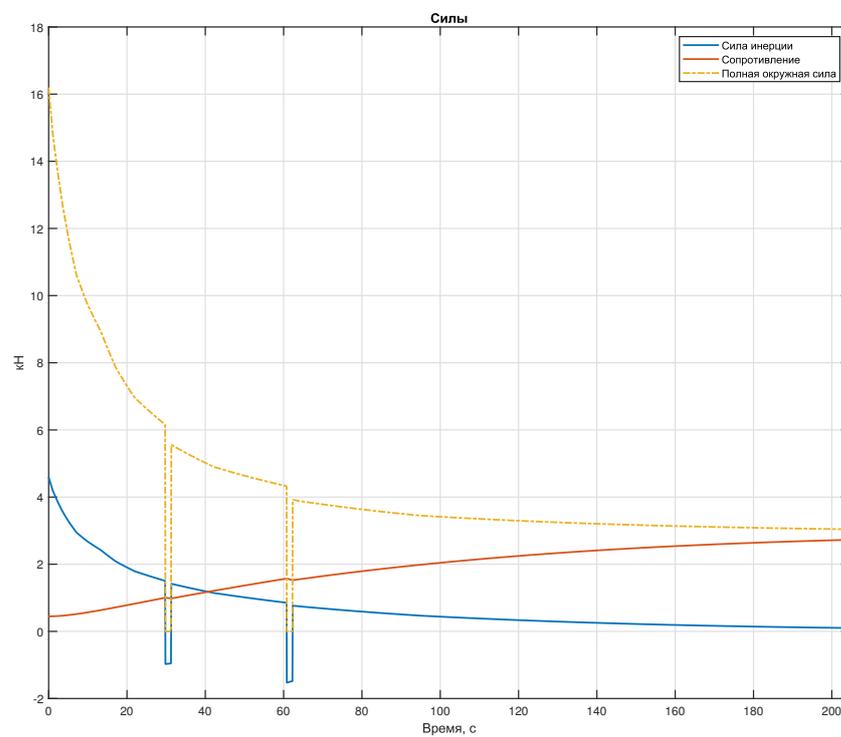


Рисунок 3.13 — Силы из уравнения движения (ЗИЛ-117)

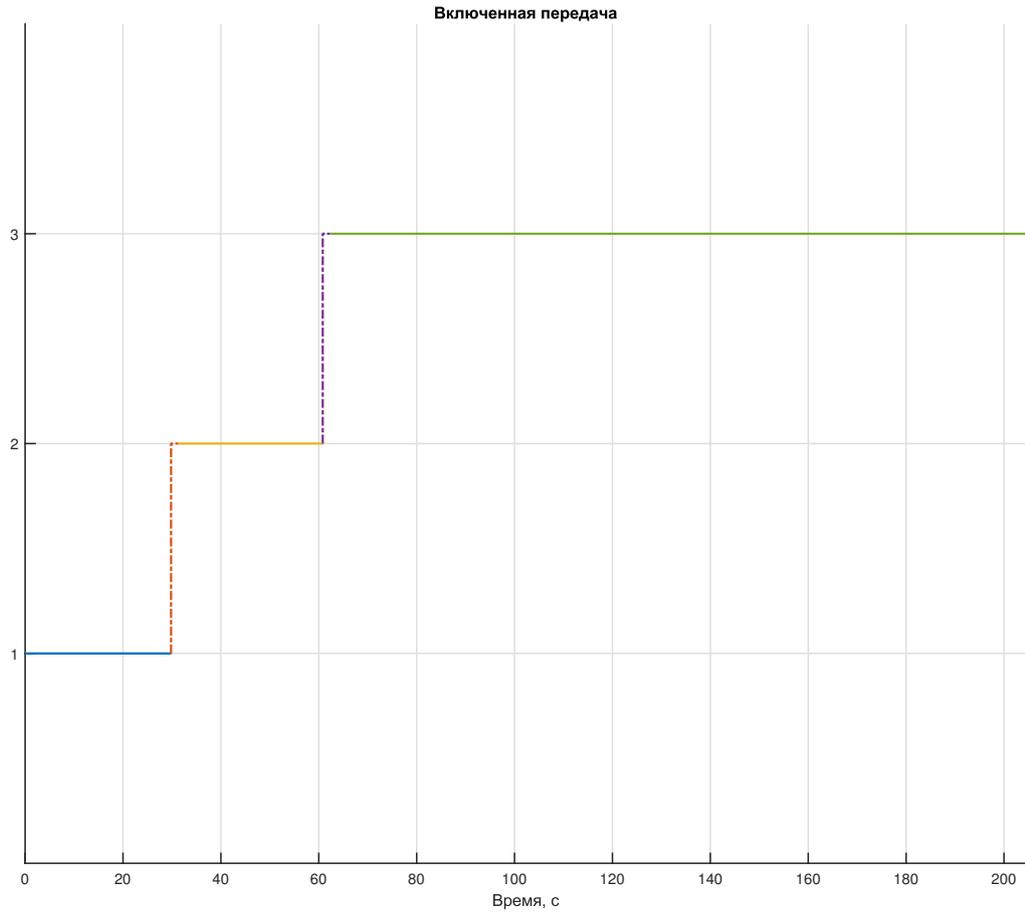


Рисунок 3.14 — Включенная передача (ЗИЛ-117)

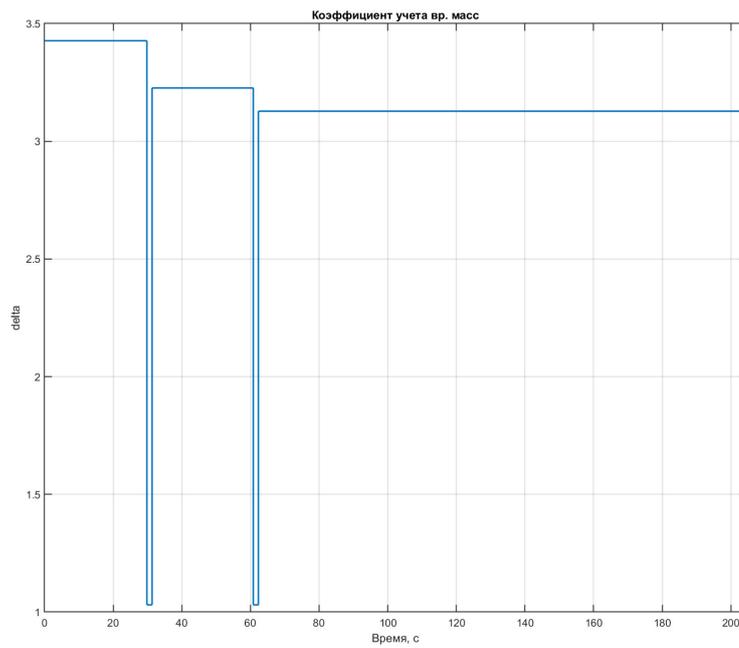


Рисунок 3.15 — Коэффициент учета вращающихся масс (ЗИЛ-117)

## ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В результате выполнения домашнего задания составлена программа, которая может рассчитывать тягово-скоростные характеристики колесных машин, имеющих трансмиссию с и без гидротрансформатором.

Получены графики динамического фактора, разгонной характеристики, кривых ускорения для ЗИЛ-117 и КРАЗ-257Б1. Построена разгонная характеристика для каждого автомобиля.

# ПРИЛОЖЕНИЕ А

## Код МАТЛАВ тягового расчета

```
clear

data.main_pars = readcell(
"vehicle_list.xlsx","Sheet","main_params");
data.engine_pars=readcell(
"vehicle_list.xlsx","Sheet","engine");
data.gdt_pars=readcell(
"vehicle_list.xlsx","Sheet","GDT");
data.wheel_pars=readcell(
"vehicle_list.xlsx","Sheet","wheel");

vehicle_names = string(data.main_pars(1,3:end));
engine_names= string(data.engine_pars(1,3:end));
gdt_names=string(data.gdt_pars(1,3:end));
wheel_names =string(data.wheel_pars(1,3:end));

% Читаем параметры выбранной машины
chosen_vehicle_idx=2+find(vehicle_names ==vehicle_names(3));

for i=1:size(data.main_pars,1)
paramExplain= data.main_pars{i,1};
paramName = data.main_pars{i,2};
paramValue = data.main_pars{i,chosen_vehicle_idx};

if ischar(paramValue) || isstring(paramValue)
% Check if it's an array in brackets
paramValue = char(paramValue);
if startsWith(strtrim(paramValue), '[')
&& endsWith(strtrim(paramValue), ']')
% Convert string array to numeric
paramValue = str2num(paramValue);
end
% Otherwise keep as string
end
paramName=matlab.lang.makeValidName(paramName);
v.(paramName)=paramValue;
v.explain.(paramName)=paramExplain;
end

chosen_engine_idx=2+find(engine_names == v.engine_name);
chosen_idx=chosen_engine_idx;

for i=1:size(data.engine_pars,1)
paramExplain= data.engine_pars{i,1};
paramName = data.engine_pars{i,2};
paramValue = data.engine_pars{i,chosen_idx};

if ischar(paramValue) || isstring(paramValue)
% Check if it's an array in brackets
paramValue = char(paramValue);
if startsWith(strtrim(paramValue), '[')
&& endsWith(strtrim(paramValue), ']')
% Convert string array to numeric
paramValue = str2num(paramValue);
end
% Otherwise keep as string
end
paramName=matlab.lang.makeValidName(paramName);
v.engine.(paramName)=paramValue;
v.explain.(paramName)=paramExplain;
end

chosen_gdt_idx=2+find(gdt_names == v.gdt_name);
chosen_idx=chosen_gdt_idx;

for i=1:size(data.gdt_pars,1)
paramExplain= data.gdt_pars{i,1};
paramName = data.gdt_pars{i,2};
paramValue = data.gdt_pars{i,chosen_idx};

if ischar(paramValue) || isstring(paramValue)
% Check if it's an array in brackets
paramValue = char(paramValue);
if startsWith(strtrim(paramValue), '[')
&& endsWith(strtrim(paramValue), ']')
% Convert string array to numeric
paramValue = str2num(paramValue);
end
% Otherwise keep as string
end
paramName=matlab.lang.makeValidName(paramName);
v.gdt.(paramName)=paramValue;
v.explain.(paramName)=paramExplain;
end

if startsWith(strtrim(paramValue), '[')
&& endsWith(strtrim(paramValue), ']')
% Convert string array to numeric
paramValue = str2num(paramValue);
end
% Otherwise keep as string
end
paramName=matlab.lang.makeValidName(paramName);
v.wheel.(paramName)=paramValue;
v.explain.(paramName)=paramExplain;
end

v
v.engine
v.gdt
v.wheel

%% Параметры автомобиля
count_pricep=false;
if v.Mpr==0
count_pricep=false;
else
disp("Нет прицепа. Галочка ничего не делает.")
end
Ma=v.Ma+v.Mpr*count_pricep
%полная масса и прицеп, кг
lkolp=v.lkolp;
%коля передних колес, м
Ha=v.Ha;
%высота автомобиля, м
rk0=0.97*v.wheel.rst*1e-3;
%радиус чистого качения, м
%Flob=0.85*lkolp*Ha;
%лобовая площадь автомобиля
Flob=v.Flob;
%лобовая площадь автомобиля, м^2
kkol=v.kkol;
%количество колес автомобиля
Jsh=v.wheel.Jsh;
%момент инерции шины 1200.400-533 по Ларину,кг*м:2
Jk=v.wheel.Jsho;
%момент инерции колеса (шина+обод)
Jd=v.engine.Jdv;
%момент инерции двигателя
%Параметры трансмиссии
ukp=v.ukp;
%передаточные числа коробки передач
urk=v.urk;
%передаточные числа раздаточной коробки
ugp=v.ugp;
%передаточное число главной передачи
```

```

ukr=v.ukr;
kpdт=v.kpdт;
%Общий КПД трансмиссии
%Прочие параметры
ksN=0.85;
%коэффициент снимаемой мощности ДВС,
% занижен для обеспечения возможности совместной работы ДВС и ГТ
fsh=0.014;
%коэффициент сопротивления качению
kv=7e-4;
%коэффициент скоростных потерь (с^2/м^2)
cx=v.cx;
%коэффициент лобового сопротивления
row=1.25;
%плотность воздуха
g=9.81;
%ускорение свободного падения
%Параметры гидротрансформатора
igt=v.gdt.igt;
lamNz=v.gdt.lamNz;
%коэффициент пропорциональности крутящего момента на насосном колесе
lamN=lamNz*1.0e-5;
Kgt=v.gdt.Kgt;
%коэффициент трансформации
kpdgt=igt.*Kgt;
usp=v.usp;
%Передачное число согласующей передачи
kpdsp=1;
%КПД согласующей передачи (нет редуктора)
Jn=0.05;
%Момент инерции насосного колеса, очень приблизительный
Jt=0.05;
%Момент инерции турбинного колеса, очень приблизительный

%% BCX

clc
%% Характеристика двигателя

if string(v.engine.Mdvs) == "ларин"

[no Mdvs]= larin_dvs( ...
v.engine.nNmax, ...
v.engine.nMmax, ...
v.engine.ndvsmn, ...
v.engine.ndvsmx, ...
v.engine.Ndvs_max, ...
v.engine.Mdvs_max);
else
no=v.engine.no; %обороты/мин
Mdvs=v.engine.Mdvs; %момент Н*м
end

Mdi=@(n)interp1(no,Mdvs,n);
%Функция интерполяции момента
ni=[min(no):0.1:max(no)];
%создаем больше точек для оборотов двс
Ndvs=Mdvs.*no*pi/30;
%вычисляем мощность, кВт
Ndi=@(n)Mdi(n).*n*pi/30;
%функция интерполяции мощности, кВт

%% График
figure('Name','Характеристики ДВС','NumberTitle','off')
yyaxis left
plot(ni,Mdi(ni),"LineWidth",3);
xlabel('n об/мин');
ylabel('М Н*м');
title('Момент ДВС'); %Настраиваем сетку
grid on;
axis auto;

yyaxis right
plot(ni,Ndi(ni)/1000,'--','LineWidth',3);
xlabel('n об/мин');
ylabel('N кВт');
title('BCX ДВС');
grid on;

axis auto;
xline([no(1) no(end)],'-','LineWidth',1)

%% BCX ДВС-ГДТ
if v.gdt_name=="нет_гдт"

%Интерполируем полученные значения
%Строим характеристики ГТ

figure('Name','Характеристики ГДТ','NumberTitle','off')
plot(igt,Kgt,'--o',igt,lamNz,'-x',igt,kpdgt,'-');
title("Характеристики ГДТ")
legend('Kgt','ЛамдаН 10^-5','КПД');
xlabel('Передачное число i');
grid on;
axis auto;
%Обеспечиваем совместную работу ДВС и ГТ
;
Mnas=@(n,i)interp1(igt,lamN,i).*n.*n;
%Функция для определения момента на
%насосном колесе от оборотов и igt
Msp=@(n)ksN*usp*kpdsp*Mdi(n);
%Функция для определения момента на согласующей передаче
%% Строим совместные характеристики ДВС и ГТ
figure('Name','Совместная работа ДВС и ГТ','NumberTitle','off');

plot(ni,Msp(ni),'LineWidth',2);

title("Совместная работа ГДТ и ДВС")
hold on;
for i=1:numel(igt)
if i==1 || i==numel(igt) plot(ni,Mnas(ni,igt(i)),'LineWidth',2);
else
plot(ni,Mnas(ni,igt(i)),'--')
end
hold on;
end
grid on;
axis auto;
xlabel('Угловая скорость, об./мин');
ylabel('Крутящий момент, Н*м');
legend('Крутящий момент ДВС',
'Момент на турбинном колесе ГТ при igt =0,1...1,0',
'Location','northwest');

%n пересечения Msp,Mnas - для каждого i пробегаем BCX и находим n
for i=1:length(igt)
for j=min(no):0.1:max(no)
if abs(Mnas(j,igt(i))-Msp(j))<1
nnas(i)=j;
break;
end
end
end
%Определяем обороты турбинного колеса (Массив точек)
ntur=nnas.*igt;
%Определяем момент на турбинном колесе (Массив точек)
Mtur=Kgt.*Msp(nnas);
Ntur=Mtur.*ntur*pi/30;
%Определим ламда для турбины
for i=1:numel(igt)
lamT=Mtur./ntur./ntur;
end
%Определяем коэффициент прозрачности
Pr=max(lamN)/lamN(numel(lamN));

figure('Name','Характеристики системы ДВС-ГДТ','NumberTitle','off')
yyaxis left
plot(ntur,Mtur,"LineWidth",3);
xlabel('n_тур об/мин');
ylabel('M_{тур} Н*м');
title('Момент на турбинном колесе'); %Настраиваем сетку
grid on;
axis auto;

yyaxis right
plot(ntur,Ntur/1000,'-','LineWidth',3);
xlabel('n об/мин');
ylabel('N кВт');

```

```

title('BCX системы ДВС-ГДГ');
grid on;
axis auto;
figure('Name','Момент на насосном колесе в зависимости от ЛамН',
'NumberTitle','off')
tiledlayout("horizontal","TileSpacing','compact','Padding","tight")
nexttile(1);
title('Момент на насосном колесе в зависимости от ЛамН')

%Строим трехмерную характеристику момента на насосном колесе от оборотов и
%от лямбды mesh
n_f=25;
%количество точек для интерполяции характеристик
lamN_f=interp1(igt,lamN,min(igt):(max(igt)-min(igt))
/(n_f-1):max(igt));
%интерполяция характеристики ЛамбдаН от оборотов
nmas_f=[min(no):max(no)/(n_f-1):max(no)];
%Интерполяция характеристики оборотов насосного колеса
[X,Y]=meshgrid(nmas_f,lamN_f);
%Создаем сетку значений X-Y
[Mnas=@(n,i)interp1(igt,lamN,i).*n.*n;
Z=Y.*X.*X;
%Получаем сетку значений для момента
%Увеличиваем количество точек характеристики ДВС
%Получаем функцию для построения
%одномерной характеристики ДВС в осях X-Y
Mdvс_f1=[
interp1(no,Mdvс,min(no):(max(no)-min(no))/(n_f-1):max(no));
%Интерполируем характеристику ДВС с большим количеством точек
Mdvс_f=Mdvс_f1;
for ii=2:n_f
Mdvс_f=[Mdvс_f; Mdvс_f1];
end

%Строим трехмерную характеристику насосного
%колеса в зависимости от ЛямбдаН

mesh(X,Y,Z,"EdgeColor",[0.5 1 0.5],'FaceColor',[0 0.6 0.1]);
hold on;

%Строим трехмерную характеристику ДВС
ndvs_f=[min(no):(max(no)-min(no))/(n_f-1):max(no)];
[X1,Y1]=meshgrid(ndvs_f,lamN_f);
mesh(X1, Y1, Mdvс_f,"EdgeColor",[1 0 0]);

xlabel('Угловая скорость, об./мин');
ylabel('Лямбда насоса');
zlabel('Крутящий момент, Н*м');
legend(['М(ЛямбдаН) "ДВС"', "Location", "northeast")

%Трехмерная характеристика насосного колеса в зависимости от igt
nexttile(2);
igt_f=[min(igt):(max(igt)-min(igt))/(n_f-1):max(igt)];
[X2,Y2]=meshgrid(ndvs_f,igt_f);
lam_ff=@(gg)interp1(igt,lamN,gg);
Z2=lam_ff(Y2).*X2.*X2;
%Строим трехмерную характеристику
% насосного колеса в зависимости от igt
mesh(X2,Y2,Z2,"EdgeColor",[0.5 0.5 1],'FaceColor',[0 0 0.7]);
hold on;
%Строим трехмерную характеристику ДВС
mesh(X2, Y2, Mdvс_f,"EdgeColor",[1 0 0]);
xlabel('Угловая скорость, об./мин');
ylabel('igt');
zlabel('Крутящий момент, Н*м');
legend(['М(igt) "ДВС"', "Location", "northeast")
end

%% Построение динамического фактора
if v.gdt_name ~="нет_гдт"
n_kr = ntur;
M_kr = Mtur;
else
n_kr=no;
M_kr=Mdvс;
end
%Расчетные зависимости для определения динамического фактора
Va=@(nf,irk,ikp)nf*rk0*pi/(30*irk*ikp*ugr*ukr);
%скорость автомобиля в зависимости от оборотов
%DВС и передачи в РК и КП
nd=@(v,irk,ikp)30*v*irk*ikp*ugr/rk0/pi;
%обороты двигателя в зависимости от скорости
Pw=@(vaf)0.5*cx*Flob*row*vaf.^2;
%сила сопротивления воздуха
Pko=@(Mdvf,irk,ikp)Mdvf*ksN*kpdt*irk*ikp*ugr*ukr/rk0;
D=@(Mdvf,nf,irk,ikp)(Pko(Mdvf,irk,ikp)-Pw(Va(nf,irk,ikp)))/Ma/g;
%вычисляем динамический фактор
figure('Name','Динамический фактор','NumberTitle','off')
for irk=1:size(urk,2)
%строим динамический фактор
for ikp=1:size(ukp,2)
subplot(1,numel(urk),irk);
plot( ...
Va(n_kr,urk(irk),ukp(ikp))*3.6,D(M_kr,n_kr,urk(irk),ukp(ikp)), ...
'LineWidth', 2 ...
); %Вычисляем динамический фактор на всех передачах
% hold on;
plot(
Va(no,urk(irk),ukp(ikp))*3.6,
D(Mdvс,no,urk(irk),ukp(ikp)));
%Вычисляем динамический фактор на всех передачах, без ГТ
hold on;
end
%Настройка отображения графиков
grid on;
axis auto;
%set(gca,'XTick',0:0.1:200);
%set(gca,'YTick',0:0.1:2);
%axis([0,160,0,1.3]);
%xlim([0,160])
%ylim([0,0.9+(irk-1)/2]);
xlabel('Скорость, км/ч');
ylabel('Динамический фактор');
end

%Блок построения разгонной характеристики
N_kr=M_kr.*n_kr*pi/30;
if v.gdt_name ~="нет_гдт"
Nkm=@(Ndvf,kpdt_f)Ndvf*kpdt*ksN;
else
Nkm=@(Ndvf,kpdt_f)Ndvf*kpdt;
end

%вычисляем мощность Nkm;
%вычисляем мощность Nkm
fva=@(vf)fsH*(1+kv*vf.^2);
%сопротивление качению$
Nc=@(vaf)Pw(vaf)*vaf+vaf*fva(vaf)*Ma*g;
%мощность сопротивления
vmas=0:1:200;
%создаем массив точек скорости
for j=1:numel(vmas)
%создаем массив точек мощности сопротивления
Ncc(j)=Nc(j/3.6);
end
figure('Name','Мощностная характеристика','NumberTitle','off')
for irk=1:size(urk,2)
%строим мощностную характеристику
for ikp=1:size(ukp,2)
subplot(1,numel(urk),irk);
plot(Va(no,urk(irk),ukp(ikp))*3.6,Nkm(N_kr,kpdt)*1e-3,'LineWidth',2);
hold on
end
%Настройка отображения графиков
grid on;
axis auto;
%set(gca,'XTick',0:0.1:200);
%set(gca,'YTick',0:0.1:2);
%axis([0,160,0,1.3]);
%xlim([0,160])
ylim([0,max(Nkm(N_kr,kpdt)*1e-3)+10]);
xlabel('Скорость, км/ч');
ylabel('N, кВт');
plot(vmas,Ncc*1e-3,'--','LineWidth',2);
end

```

```

if v.gdt_name~="нер_гдт"
sigma1_c=1.1*Jd*kpdt/(Ma*rk0^2);
else
sigma1_c=Jd*kpdt/(Ma*rk0^2);
end
sigma2=1+1+(kkol+2*count_pricep)*Jk/(Ma*rk0^2);
delta=@(ikp,irk)1+sigma2+sigma1_c*(ikp*irk*ukr*ugp/rk0).^2;

%Функция определения ускорения
akm=@(Mdvf,nf,irk,ikp)(D(Mdvf,nf,irk,ikp)
-fva(Va(nf,irk,ikp)))*g/delta(irk,ikp);
%строим графики ускорения
figure('Name','Ускорение','NumberTitle','off')
for irk=1:size(urk,2)
for ikp=1:size(ukp,2)
subplot(1,numel(urk),irk)
plot(Va(n_kr,urk(irk),ukp(ikp))*3.6,
akm(M_kr,n_kr,urk(irk),ukp(ikp)),
'LineWidth',1.5); %Вычисляем ускорение на всех передачах
hold on
end
%Настройка отображения графиков
grid on;
axis auto;
%set(gca,'XTick',0:10:160);
%set(gca,'YTick',0:0.1:0.9+(irk-1)/2);
%axis([0,160,0,1.3]);
%xlim([0,160])
%ylim([0,0.9+(irk-1)/2]);
xlabel('Скорость км/ч');
ylabel('Ускорение, м/с^2');
end

tper=1.5;
irk_aval=length(urk);
irk=1;

num_per=length(ukp);
%начальные обороты
v0=Va(min(n_kr),urk(irk),ukp(irk))
deltaP=1+(kkol+count_pricep*2)*Jk/(Ma*rk0^2);

load_system("razgon");
set_param("razgon",'MaxStep','1e-3')
% open_system("razgon");
simout=sim("razgon");
disp("razognalsa")
logs = simout.logsout
t= simout.tout;

figure()
tiledlayout("vertical", "TileSpacing", "compact")
nexttile;

plot(t(1:end-1),diff(t))
grid on;

xlabel('Время, с');
title("Временной шаг")
ylabel('шаг, с');
xlim([0 t(end)])
nexttile;
plot(t(1:end-1),diff(t))
grid on;

ylabel('шаг, с');
xlim([0.0 10])

figure()
tiledlayout("vertical", "TileSpacing", "compact")
nexttile();
plot(
logs.getElement('x').Values.Data,
logs.getElement('v').Values.Data*3.6)
grid on;

xlabel('Путь, м');
title("v(s)")
ylabel('Скорость, км/ч');

nexttile()

plot(logs.getElement('x').Values)
grid on;
xlim([0 t(end)])
title("Пройденный путь")
xlabel('Время, с');
ylabel('м');

% figure()
% tiledlayout("vertical", "TileSpacing", "compact")
figure()

plot(logs.getElement('v').Values*3.6)
grid on;
xlim([0 t(end)])
title("Разгонная характеристика v(t)")
xlabel('Время, с');
ylabel('Скорость, км/ч');

figure()

plot(logs.getElement('nkr').Values)
grid on;

xlabel('Время, с');
title('Частота входного вала трансмиссии, об/мин');
ylabel("об/мин")
yline(max(n_kr),'Color',[1 0 0]);
xlim([0 t(end)])
figure()

plot(logs.getElement('Pin').Values/1e3)
hold on
plot(logs.getElement('Psopr').Values/1e3)
plot(logs.getElement('Pkm').Values/1e3,'-')
legend(['Сила инерции' "Сопротивление" "Полная окружная сила"])
grid on;
title("Силы")
xlabel('Время, с');
% xlabel('Время, с');
ylabel('кН');
xlim([0 t(end)])

figure()

toplot=logs.getElement('gear_cmd').Values;
plot(toplot)
ylim([0 length(ukp)+1])
yticks(1:length(ukp))
grid on;
% xlabel('Время, с');
title('Включенная передача');
xlabel('Время, с');
xlim([0 t(end)])
figure()

toplot=logs.getElement('delta').Values;
plot(toplot)
grid on;

xlim([0 t(end)])
xlabel('Время, с');
title('Коэффициент учета вр. масс');

if false
to_export=v.vehicle_name+'.pdf';
exportt=fullfile(pwd, "results", to_export);
export('Main.mlx', exportt);
disp("exported to "+exportt)
end

```