

Пояснения к домашнему заданию № 2
«Оценка тормозных свойств колесной машины»

Тормозные свойства КМ оцениваются:

1. Длиной тормозного пути - $S_{\text{тор}}$, м;
2. Величиной установившегося замедления - $a_{\text{т уст}}$, м/с^2 , или величиной тормозной силы, развиваемой тормозами КМ - $P_{\text{кт м}}$, Н.

Суммарный остановочный путь - $S_{\text{ост}}$ учитывает время реакции водителя - $\tau_{\text{р.в}} = 0,8$ с.

Значения коэффициентов сцепления - ϕ при скорости $v_{\text{мх0}} = 40$ км/ч.:

Опорная поверхность	ϕ	
	Сухая	Мокрая
Асфальто (цемент) бетон	0,7...0,8	0,35...0,45
Щебенистая	0,6...0,7	0,30...0,40
Грунтовая дорога	0,5...0,6	0,20...0,40
Дорога с укатанным снегом	0,2...0,3	0,20...0,30
Дорога обледенелая	0,1...0,2	0,10...0,20

Нормативы эффективности действия рабочей тормозной системы КМ без груза, со скорости $v_{\text{мх0}} = 30$ км/ч по пути $S_{\text{тор}}$ и замедлению $a_{\text{т уст}}$:

Автомобили	$S_{\text{тор}}$, м	$a_{\text{т уст}}$, м/с^2
Легковые	7,2	5,8
Грузовые с $m_{\text{ч}} < 8$ т, автобусы $L < 7,5$ м	9,5	5,0
Грузовые с $m_{\text{ч}} > 8$ т, автобусы $L > 7,5$ м	11,0	4,2

Автомобили не укладываемые в нормы не допускаются к эксплуатации.

----- * * * -----

При выполнении ДЗ необходимо рассчитать и построить следующие зависимости от времени торможения автомобиля на горизонтальной поверхности с различными коэффициентами сцепления ϕ и различной загрузкой КМ без груза (снаряженной) $m_{\text{ч}}$ и полностью гружёный (полной) $m_{\text{ч}}$:

1. нормальных реакций по колёсам - $R_{zi} = f(t)$;
2. тормозных сил на колёсах - $R_{xi} = f(t)$;
3. скорости колёсной машины (до полной остановки) - $v_{\text{мх}} = f(t)$;
4. пути торможения - $S_{\text{тор}} = f(t)$;
5. замедления $a_{\text{т}} = f(t)$.
6. Определить остановочный путь и время остановки - $S_{\text{ост}}$ и $t_{\text{ост}}$.

Исходные данные:

1. Параметры автомобилей представлены в таблице вариантов ДЗ-N2.
2. Торможение осуществляется при двух значениях начальной скорости:
 для легковых автомобилей - $v_{\text{мх0 1}} = 30$ км/ч; $v_{\text{мх0 2}} = 80$ км/ч;
 для грузовых автомобилей - $v_{\text{мх0 1}} = 30$ км/ч; $v_{\text{мх0 2}} = 60$ км/ч;

3. Торможение осуществляется при двух значениях коэффициентов сцепления: $\varphi_1 = 0,3$; $\varphi_2 = 0,7$.

4. Время запаздывания тормозного привода - $T_{\text{зап}}$, с:

- гидропривод и дисковые тормозные механизмы - 0,005-0,07 (**0,0375**);

- гидропривод и барабанные ТМ - 0,15...0,2 (**0,175**) с;

- пневмопривод - 0,2...0,4 (**0,3**) с.

5. Время реакции водителя - $T_{\text{р.в}} = 0,8$ с.

6. Время нарастания замедления - $T_{\text{нар}}$, с. Определяется по зависимости: $T_{\text{нар}} = a_{\text{т уст}}/k_{a_{\text{т}}}$, где $a_{\text{т уст}} = \varphi g$ - установившееся замедление, м/с²; $k_{a_{\text{т}}}$ - коэффициент нарастания замедления, м/с³.

Значения $k_{a_{\text{т}}}$ и $T_{\text{нар}}$ при коэффициенте сцепления $\varphi = 0,7$:

Автомобили	$k_{a_{\text{т}}}$	$T_{\text{нар}}$, с
Легковые	68,60	0,10
Грузовые с гидроприводом	34,30	0,20
Грузовые с пневмоприводом	6,86	1,0

Исходные зависимости

Уравнения равновесия сил на опорной поверхности:

$$P_{a_x} = m_M a_T = R_{\text{хт01}} + R_{\text{хт02}} + m_M g \sin \alpha_{\text{опх}} + P_W + P_{\text{пцх}}.$$

При рассмотрении идеального варианта торможения, при допущении об одновременном достижении максимальных значений продольных реакций:

$$R_x = R_z \varphi \text{ и при } P_W = 0 \text{ и } P_{\text{пцх}} = 0:$$

$$R_{\text{хт01}} + R_{\text{хт02}} = \varphi(R_{z01} + R_{z02}) = \varphi m_M g \cos \alpha_{\text{опх}}$$

$$\text{Тогда } a_{\text{т уст}} = (\varphi \cos \alpha_{\text{опх}} + \sin \alpha_{\text{опх}}) g.$$

$$\text{При } \alpha_{\text{опх}} = 0, \quad a_{\text{т уст}} = \varphi g.$$

Значения тормозного пути, замедления, скорости и времени на основных участках торможения с начальной скорости $V_{\text{мх0}}$ определяются по зависимостям:

$$1. \text{ Участок запаздывания: } a_{\text{т зап}} = 0; \quad V_{\text{мх зап}} = V_{\text{мх0}}; \quad S_{\text{т зап}} = V_{\text{мх0}} T_{\text{зап}}.$$

$$2. \text{ Участок нарастания замедления: } a_{\text{т нар}} = a_{\text{т уст}} t_{\text{нар}} / T_{\text{нар}}, \quad 0 \leq t_{\text{нар}} \leq T_{\text{нар}};$$

$$V_{\text{мх нар}} = V_{\text{мх0}} - 0,5 a_{\text{т уст}} t_{\text{нар}}^2 / T_{\text{нар}}; \quad S_{\text{т нар}} = V_{\text{мх0}} t_{\text{нар}} - a_{\text{т уст}} t_{\text{нар}}^3 / (6 T_{\text{нар}}).$$

$$V_{\text{мх уст0}} = V_{\text{мх0}} - 0,5 a_{\text{т уст}} T_{\text{нар}}$$

$$3. \text{ Участок установившегося замедления: } a_{\text{т уст}} = \text{const с конечной скоростью } V'_{\text{мх уст}}:$$

$$T_{\text{уст}} = (V_{\text{мх уст0}} - V'_{\text{мх уст}}) / a_{\text{т уст}}; \quad V_{\text{мх уст}} = V_{\text{мх уст0}} - a_{\text{т уст}} T_{\text{уст}};$$

$$S_{\text{т уст}} = 0,5 (V_{\text{мх уст0}}^2 - V_{\text{мх уст}}^2) / a_{\text{т уст}}$$

$$\text{При } V'_{\text{мх уст}} = 0 \quad S_{\text{т уст}} = 0,5 V_{\text{мх уст0}}^2 / a_{\text{т уст}}.$$

4. Суммарные значения параметров торможения.

$$\text{Время торможения: } t_{\text{тор}} = T_{\text{нар}} + T_{\text{зап}} + T_{\text{уст}};$$

$$\text{Тормозной путь: } S_{\text{тор}} = S_{\text{нар}} + S_{\text{зап}} + S_{\text{уст}}; \quad S_{\text{тор}} = V_{\text{мх0}} (T_{\text{зап}} + 0,5 T_{\text{нар}}) + 0,5 V_{\text{мх0}}^2 / (\varphi g).$$

Остановочный путь: $S_{\text{ост}} = S_{\text{тор}} + v_{\text{мх0}} \tau_{\text{р.в}}$ и время $t_{\text{ост}} = t_{\text{тор}} + \tau_{\text{р.в}}$

По представленным зависимостям можно построить графики $v_{\text{мх}} = f(t)$; $a_{\text{т}} = f(t)$;
 $S_{\text{тор}} = f(t)$.

Определение реакций по осям.

Из условия равновесия по оси X:

$$R_{\text{з01}} L = P_{\text{м}} l_2 + h_g P_{\text{ат}}, \text{ где } P_{\text{ат}} = m_{\text{м}} a_{\text{т}}; P_{\text{м}} = m_{\text{м}} g, l_2 = L - l_{1\text{с}}$$

нормальные реакции: $R_{\text{з01}} = P_{\text{м}} \left(\frac{l_2}{L} + \frac{h_g}{L} \frac{a_{\text{т}}}{g} \right); R_{\text{з02}} = P_{\text{м}} \left(\frac{l_{1\text{с}}}{L} - \frac{h_g}{L} \frac{a_{\text{т}}}{g} \right) \dots$

На участке нарастания замедления:

$$R_{\text{з01}} = P_{\text{м}} \left(\frac{l_2}{L} + \varphi \frac{h_g}{L} \frac{t_{\text{нар}}}{\tau_{\text{нар}}} \right); R_{\text{з02}} = P_{\text{м}} \left(\frac{l_{1\text{с}}}{L} - \varphi \frac{h_g}{L} \frac{t_{\text{нар}}}{\tau_{\text{нар}}} \right); R_{\text{х01}} = \varphi R_{\text{з01}}; R_{\text{х02}} = \varphi R_{\text{з02}}$$

ПРИМЕР РАСЧЁТА

Автомобиль ЗИЛ-130

Исходные данные:

$$m_{\text{сн}} = 4300 \text{ кг, по осям (2120 - 2180), } P_{\text{м сн}} = 42183 \text{ Н;}$$

$$m_{\text{п}} = 10525 \text{ кг, по осям (2625 - 7900), } P_{\text{м п}} = 103250 \text{ Н;}$$

База $L = 3,8 \text{ м;}$

Отношения расстояния от осей до ЦМ $l_{1\text{с}}$ к базе - $l_{1\text{с}}/L$:

- в снаряжённом состоянии: $l_{1\text{с}}/L = 0,507$; $l_{2\text{с}}/L = 0,493$;

- в гружённом состоянии: $l_{1\text{с}}/L = 0,750$; $l_{2\text{с}}/L = 0,250$;

Отношения высоты расположения ЦМ h_g к базе L - h_g/L :

- в снаряжённом $h_g/L = 0,32$, гружённом $h_g/L = 0,38$.

Время запаздывания - $\tau_{\text{зап}} = 0,3 \text{ с.}$

Коэфф. нарастания замедления - $k_{\text{ат}} = 6,86 \text{ м/с}^3$.

Конечная установившаяся скорость при торможении - $v'_{\text{мх уст}} = 0$.

Время реакции водителя - $\tau_{\text{р.в}} = 0,8 \text{ с.}$

Порядок расчёта

1. Торможение на ОП с $\varphi = 0,6$: $a_{\text{т уст}} = \varphi g = 0,6 \cdot 9,81 = \underline{5,886} \text{ м/с}^2$.

1.1. Торможение с начальной скорости $v_{\text{мх0}} = 30 \text{ км/ч} = 8,33 \text{ м/с.}$

1.1.1. Участок реакции водителя: $v_{\text{мх р.в}} = v_{\text{мх0}}$; $S_{\text{т р.в}} = v_{\text{мх0}} \tau_{\text{р.в}} = 8,33 \cdot 0,8 = 6,664 \text{ м.}$

1.1.2. Участок запаздывания: $v_{\text{мх зап}} = v_{\text{мх0}}$; $a_{\text{т зап}} = 0$;

$$S_{\text{т зап}} = v_{\text{мх0}} \tau_{\text{зап}} = 8,33 \cdot 0,3 = 2,499 \text{ м.}$$

1.1.3. Участок нарастания замедления: $\tau_{\text{нар}} = a_{\text{т уст}} / k_{\text{ат}} = 0,85 \text{ с;}$

$$v_{\text{мх уст0}} = v_{\text{мх0}} - 0,5 a_{\text{т уст}} \tau_{\text{нар}} = 5,828 \text{ м/с} = 20,98 \text{ км/ч.}$$

$$S_{\text{т нар}} = v_{\text{мх0}} \tau_{\text{нар}} - a_{\text{т уст}} \tau_{\text{нар}}^2 / 6 = 6,37 \text{ м.}$$

1.1.4. Участок установившегося замедления:

$$\tau_{\text{уст}} = (v_{\text{мх уст0}} - v'_{\text{мх уст}}) / a_{\text{т уст}} = 5,828 / 5,886 = 0,99 \text{ с.}$$

$$S_{T \text{ уст}} = 0,5 v_{\text{МХ уст}0}^2 / a_{T \text{ уст}} = 2,88 \text{ м.}$$

1.1.5. Суммарные характеристики торможения:

- время: торможения - $t_{\text{тор}} = T_{\text{нар}} + T_{\text{зап}} + T_{\text{уст}} = 2,14 \text{ с};$

- остановочное: $t_{\text{ост}} = t_{\text{тор}} + T_{\text{р.в}} = 2,94 \text{ с};$

- путь: торможения - $S_{\text{тор}} = S_{\text{нар}} + S_{\text{зап}} + S_{\text{уст}} = 11,749 \text{ м};$

- остановочный: $S_{\text{ост}} = S_{\text{тор}} + v_{\text{МХ}0} T_{\text{р.в}} = 18,413 \text{ м.}$

1.2. Торможение с начальной скорости $v_{\text{МХ}0} = 60 \text{ км/ч} = 16,67 \text{ м/с.}$

1.2.1. Участок реакции водителя: $v_{\text{МХ р.в}} = v_{\text{МХ}0}; S_{T \text{ р.в}} = v_{\text{МХ}0} T_{\text{р.в}} = 16,67 \cdot 0,8 = 13,340 \text{ м.}$

1.2.2. Участок запаздывания: $v_{\text{МХ зап}} = v_{\text{МХ}0}; a_{T \text{ зап}} = 0;$

$$S_{T \text{ зап}} = v_{\text{МХ}0} T_{\text{зап}} = 16,67 \cdot 0,3 = 5,000 \text{ м.}$$

1.2.3. Участок нарастания замедления: $T_{\text{нар}} = a_{T \text{ уст}} / k_{a_T} = 0,85 \text{ с};$

$$v_{\text{МХ уст}0} = v_{\text{МХ}0} - 0,5 a_{T \text{ уст}} T_{\text{нар}} = 14,170 \text{ м/с} = 51,01 \text{ км/ч.}$$

$$S_{T \text{ нар}} = v_{\text{МХ}0} T_{\text{нар}} - a_{T \text{ уст}} T_{\text{нар}}^2 / 6 = 13,46 \text{ м.}$$

1.2.4. Участок установившегося замедления:

$$T_{\text{уст}} = (v_{\text{МХ уст}0} - v'_{\text{МХ уст}}) / a_{T \text{ уст}} = 14,170 / 5,886 = 2,41 \text{ с.}$$

$$S_{T \text{ уст}} = 0,5 v_{\text{МХ уст}0}^2 / a_{T \text{ уст}} = 17,075 \text{ м.}$$

1.2.5. Суммарные характеристики торможения:

- время: торможения $t_{\text{тор}} = T_{\text{нар}} + T_{\text{зап}} + T_{\text{уст}} = 3,56 \text{ с};$

- остановочное - $t_{\text{ост}} = t_{\text{тор}} + T_{\text{р.в}} = 4,36 \text{ с};$

- путь: торможения- $S_{\text{тор}} = S_{\text{нар}} + S_{\text{зап}} + S_{\text{уст}} = 35,535 \text{ м};$

- остановочный: $S_{\text{ост}} = S_{\text{тор}} + v_{\text{МХ}0} T_{\text{р.в}} = 48,871 \text{ м}$

1.3. Распределение нормальный R_{z0i} и тормозных R_{x0i} реакций.

1.3.1. Торможение снаряжённого ТС - $P_M = 42183 \text{ Н.}$

$$R_{z01} = P_M \left(\frac{l_2}{L} + \frac{h_g}{L} \frac{a_T}{g} \right); R_{z02} = P_M \left(\frac{l_1}{L} - \frac{h_g}{L} \frac{a_T}{g} \right); R_{x01} = \varphi R_{z01}; R_{x02} = \varphi R_{z02}.$$

$$a_T = 0: R_{z01} = 20797,2 \text{ Н}; R_{z02} = 21385,8 \text{ Н}; R_{x01} = 0; R_{x02} = 0.$$

$$a_T = a_{T \text{ уст}}: R_{z01} = 28895,3 \text{ Н}; R_{z02} = 13287,7 \text{ Н}; R_{x01} = 17337 \text{ Н}; R_{x02} = 7972,62 \text{ Н.}$$

1.3.2. Торможение груженого ТС - $P_M = 103250 \text{ Н.}$

$$R_{z01} = P_M \left(\frac{l_2}{L} + \frac{h_g}{L} \frac{a_T}{g} \right); R_{z02} = P_M \left(\frac{l_1}{L} - \frac{h_g}{L} \frac{a_T}{g} \right); R_{x01} = \varphi R_{z01}; R_{x02} = \varphi R_{z02}.$$

$$a_T = 0: R_{z01} = 25751,0 \text{ Н}; R_{z02} = 77499,0 \text{ Н}; R_{x01} = 0; R_{x02} = 0.$$

$$a_T = a_{T \text{ уст}}: R_{z01} = 49353,5 \text{ Н}; R_{z02} = 53896,5 \text{ Н}; R_{x01} = 29612 \text{ Н}; R_{x02} = 32337,90 \text{ Н.}$$

2. Торможение на ОП с $\varphi = 0,3: a_{T \text{ уст}} = \varphi g = 0,3 \cdot 9,81 = 2,943 \text{ м/с}^2.$

2.1. Торможение с начальной скорости $v_{\text{МХ}0} = 30 \text{ км/ч} = 8,33 \text{ м/с.}$

2.1.1. Участок реакции водителя: $v_{\text{МХ р.в}} = v_{\text{МХ}0}; S_{T \text{ р.в}} = v_{\text{МХ}0} T_{\text{р.в}} = 8,33 \cdot 0,8 = 6,664 \text{ м.}$

2.1.2. Участок запаздывания: $V_{\text{МХ зап}} = V_{\text{МХ0}}; a_{\text{T зап}} = 0;$

$$S_{\text{T зап}} = V_{\text{МХ0}} T_{\text{зап}} = 8,33 \cdot 0,3 = 2,499 \text{ м.}$$

2.1.3. Участок нарастания замедления: $T_{\text{нар}} = a_{\text{T уст}} / k_{a_{\text{T}}} = 0,429 \text{ с};$

$$V_{\text{МХ уст0}} = V_{\text{МХ0}} - 0,5 a_{\text{T уст}} T_{\text{нар}} = 7,698 \text{ м/с} = 27,70 \text{ км/ч.}$$

$$S_{\text{T нар}} = V_{\text{МХ0}} T_{\text{нар}} - a_{\text{T уст}} T_{\text{нар}}^2 / 6 = 3,484 \text{ м.}$$

2.1.4. Участок установившегося замедления:

$$T_{\text{уст}} = (V_{\text{МХ уст0}} - v_{\text{МХ уст}}) / a_{\text{T уст}} = 7,698 / 2,943 = 2,616 \text{ с.}$$

$$S_{\text{T уст}} = 0,5 v_{\text{МХ уст0}}^2 / a_{\text{T уст}} = 10,07 \text{ м.}$$

2.1.5. Суммарные характеристики торможения:

- время: торможения - $t_{\text{тор}} = T_{\text{нар}} + T_{\text{зап}} + T_{\text{уст}} = 3,345 \text{ с};$

- остановочное $t_{\text{ост}} = t_{\text{тор}} + T_{\text{р.в}} = 4,145 \text{ с};$

- путь: торможения- $S_{\text{тор}} = S_{\text{нар}} + S_{\text{зап}} + S_{\text{уст}} = 16,053 \text{ м};$

- остановочный: $S_{\text{ост}} = S_{\text{тор}} + V_{\text{МХ0}} T_{\text{р.в}} = 22,717 \text{ м.}$

2.2. Торможение с начальной скорости $V_{\text{МХ0}} = 60 \text{ км/ч} = 16,67 \text{ м/с.}$

2.2.1. Участок реакции водителя: $V_{\text{МХ р.в}} = V_{\text{МХ0}}; S_{\text{T р.в}} = V_{\text{МХ0}} T_{\text{р.в}} = 16,67 \cdot 0,8 = 13,340 \text{ м.}$

2.2.2. Участок запаздывания: $V_{\text{МХ зап}} = V_{\text{МХ0}}; a_{\text{T зап}} = 0;$

$$S_{\text{T зап}} = V_{\text{МХ0}} T_{\text{зап}} = 16,67 \cdot 0,3 = 5,000 \text{ м.}$$

2.2.3. Участок нарастания замедления: $T_{\text{нар}} = a_{\text{T уст}} / k_{a_{\text{T}}} = 0,429 \text{ с};$

$$V_{\text{МХ уст0}} = V_{\text{МХ0}} - 0,5 a_{\text{T уст}} T_{\text{нар}} = 16,039 \text{ м/с} = 57,74 \text{ км/ч.}$$

$$S_{\text{T нар}} = V_{\text{МХ0}} T_{\text{нар}} - a_{\text{T уст}} T_{\text{нар}}^2 / 6 = 7,06 \text{ м.}$$

2.2.4. Участок установившегося замедления:

$$T_{\text{уст}} = (V_{\text{МХ уст0}} - v_{\text{МХ уст}}) / a_{\text{T уст}} = 16,039 / 2,943 = 5,50 \text{ с.}$$

$$S_{\text{T уст}} = 0,5 v_{\text{МХ уст0}}^2 / a_{\text{T уст}} = 44,110 \text{ м.}$$

2.2.5. Суммарные характеристики торможения:

- время: торможения- $t_{\text{тор}} = T_{\text{нар}} + T_{\text{зап}} + T_{\text{уст}} = 6,229 \text{ с};$

- остановочное: $t_{\text{ост}} = t_{\text{тор}} + T_{\text{р.в}} = 7,029 \text{ с};$

- путь: торможения $S_{\text{тор}} = S_{\text{нар}} + S_{\text{зап}} + S_{\text{уст}} = 56,170 \text{ м};$

- остановочный: $S_{\text{ост}} = S_{\text{тор}} + V_{\text{МХ0}} T_{\text{р.в}} = 69,51 \text{ м.}$

2.3. Распределение нормальный $R_{\text{з0i}}$ и тормозных $R_{\text{х0i}}$ реакций.

2.3.1. Торможение снаряжённого ТС - $P_{\text{М}} = 42183 \text{ Н.}$

$$R_{\text{з01}} = P_{\text{М}} \left(\frac{l_2}{L} + \frac{h_g}{L} \frac{a_{\text{T}}}{g} \right); R_{\text{з02}} = P_{\text{М}} \left(\frac{l_1}{L} - \frac{h_g}{L} \frac{a_{\text{T}}}{g} \right); R_{\text{х01}} = \Phi R_{\text{з01}}; R_{\text{х02}} = \Phi R_{\text{з02}}.$$

$$a_{\text{T}} = 0: R_{\text{з01}} = 20670,2 \text{ Н}; R_{\text{з02}} = 21513,8 \text{ Н}; R_{\text{х01}} = 0; R_{\text{х02}} = 0.$$

$$a_{\text{T}} = a_{\text{T уст}}: R_{\text{з01}} = 24719,0 \text{ Н}; R_{\text{з02}} = 17464,0 \text{ Н}; R_{\text{х01}} = 17337 \text{ Н}; R_{\text{х02}} = 7972,62 \text{ Н.}$$

2.3.2. Торможение груженого ТС - $P_M = 103250 \text{ Н}$.

$$R_{z01} = P_M \left(\frac{l_2}{L} + \frac{h_g}{L} \frac{a_\tau}{g} \right); R_{z02} = P_M \left(\frac{l_{1C}}{L} - \frac{h_g}{L} \frac{a_\tau}{g} \right); R_{x01} = \Phi R_{z01}; R_{x02} = \Phi R_{z02}.$$

$$a_\tau = 0: R_{z01} = 25813,0 \text{ Н}; R_{z02} = 77437,0 \text{ Н}; R_{x01} = 0; R_{x02} = 0.$$

$$a_\tau = a_{\tau \text{ уст}}: R_{z01} = 36657,0 \text{ Н}; R_{z02} = 66603,0 \text{ Н}; R_{x01} = 10997 \text{ Н}; R_{x02} = 19980,90 \text{ Н}.$$

3. Расчётные данные сводятся в таблицы и строятся зависимости изменения параметров торможения.

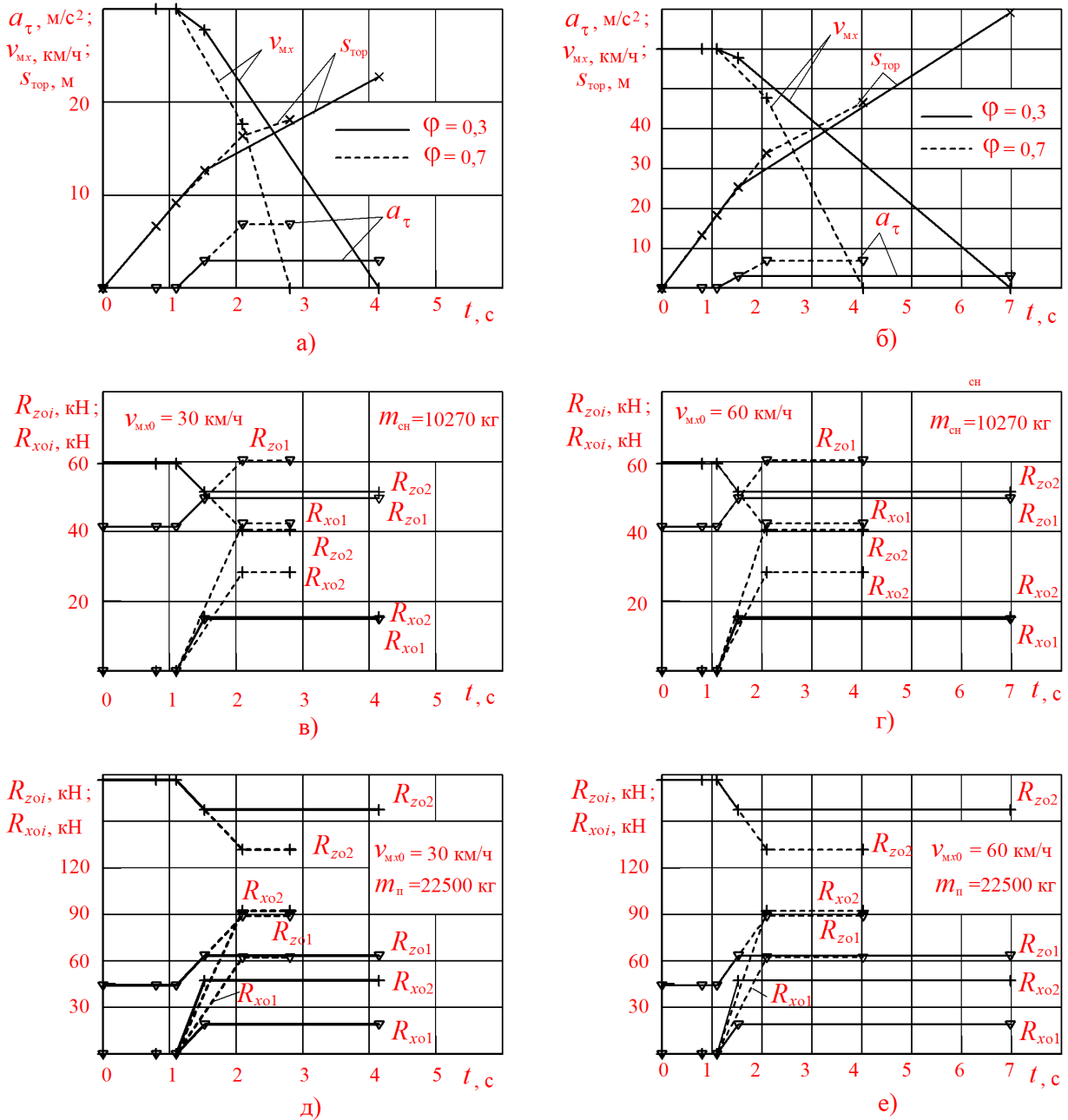


Рис. 1. Изменение параметров торможения автомобиля Краз-257В1.