

МИНИСТЕРСТВО СЕЛЬСКОГО ХОЗЯЙСТВА
И ПРОДОВОЛЬСТВИЯ РЕСПУБЛИКИ БЕЛАРУСЬ

ГЛАВНОЕ УПРАВЛЕНИЕ ОБРАЗОВАНИЯ,
НАУКИ И КАДРОВОЙ ПОЛИТИКИ

Учреждение образования
«БЕЛОРУССКАЯ ГОСУДАРСТВЕННАЯ
ОРДЕНОВ ОКТЯБРЬСКОЙ РЕВОЛЮЦИИ
И ТРУДОВОГО КРАСНОГО ЗНАМЕНИ
СЕЛЬСКОХОЗЯЙСТВЕННАЯ АКАДЕМИЯ»

Кафедра тракторов, автомобилей и машин
для природообустройства

А. А. Рудашко

ТРАКТОРЫ И АВТОМОБИЛИ

ТОРМОЗНЫЕ СВОЙСТВА АВТОМОБИЛЯ

*Методические указания к лабораторной работе
для студентов, обучающихся по специальностям
1-74 06 01 Техническое обеспечение процессов сельскохозяйственного
производства, 1-74 06 04 Техническое обеспечение мелиоративных
и водохозяйственных работ*

Горки
БГСХА
2022

УДК 629.331(072)

*Рекомендовано методической комиссией
факультета механизации сельского хозяйства.
Протокол № 8 от 26 апреля 2021 г.*

Автор:

кандидат технических наук, доцент *А. А. Рудашко*

Рецензент:

кандидат технических наук, доцент *В. И. Коцуба*

СОДЕРЖАНИЕ

1. Общие сведения	3
1.1. Замедление при торможении автомобиля	4
1.2. Время торможения и тормозная диаграмма автомобиля	5
1.3. Тормозной путь автомобиля.....	7
2. Испытания автомобиля на торможение	8
2.1. Общие требования к проведению испытаний	8
2.2. Приборы и оборудование для проведения испытаний.....	9
2.3. Порядок проведения испытаний	11
3. Моделирование процесса торможения на компьютере	14
4. Порядок выполнения работы	18
5. Отчет по работе.....	18
6. Контрольные вопросы	19
Библиографический список	20

Тракторы и автомобили. Тормозные свойства автомобиля : методические указания к лабораторной работе / *А. А. Рудашко*. – Горки : БГСХА, 2022. – 20 с.

Изложены теоретические основы процесса торможения автомобиля, описаны приборы и оборудование для проведения испытаний по определению тормозных свойств автомобиля, приведены порядок выполнения лабораторной работы, методика обработки экспериментальных данных, даны указания по использованию компьютера для моделирования процесса торможения.

Для студентов, обучающихся по специальностям 1-74 06 01 Техническое обеспечение процессов сельскохозяйственного производства, 1-74 06 04 Техническое обеспечение мелиоративных и водохозяйственных работ.

© УО «Белорусская государственная
сельскохозяйственная академия», 2022

Цель работы: изучить методику дорожных испытаний по определению тормозных свойств автомобиля, устройство и работу приборов и оборудования, применяемых при испытаниях.

Задачи работы:

1. Изучить теоретические основы процесса торможения.
2. Подготовить автомобиль, приборы и оборудование для проведения испытаний.
3. Провести дорожные испытания автомобиля на торможение.
4. Обработать данные испытаний и построить графики торможения.
5. Смоделировать процесс торможения на компьютере.
6. Проанализировать полученные данные.

Приборы и оборудование: автомобиль, измеритель «пятое колесо», экспериментальная установка, компьютер.

1. ОБЩИЕ СВЕДЕНИЯ

Торможение – процесс создания и изменения сопротивления движению автомобиля с целью уменьшения его скорости вплоть до полной остановки или удержания в неподвижном состоянии.

Тормозные свойства – совокупность свойств автомобиля, характеризующих его способность интенсивно снижать скорость, поддерживать постоянную скорость на уклонах, обеспечивать устойчивое прямолинейное движение в процессе торможения, надежно удерживать автомобиль в покое.

Тормозные свойства определяют максимальное замедление автомобиля при его движении на различных дорогах в тормозном режиме и предельные значения внешних сил, при действии которых заторможенный автомобиль надежно удерживается на месте или имеет необходимую минимальную скорость при движении под уклон.

Возможно несколько способов торможения автомобиля: только тормозной системой, совместно тормозной системой и двигателем, только двигателем, периодическим включением тормозной системы, без тормозной системы и двигателя (движение накатом).

Оценочными показателями эффективности рабочей тормозной системы являются: установившееся замедление $j_{уст}$, соответствующее движению автомобиля в условиях, оговоренных в ГОСТ 25478–91; минимальный тормозной путь $S_{ост}$ – расстояние, проходимое автомобилем от момента нажатия на педаль до полной остановки автомобиля; минимальное время торможения $t_{ост}$ – время, необходимое для прохождения минимального тормозного пути.

Для рабочей тормозной системы новых автомобилей всех категорий нормативные значения $S_{\text{ост}}$ и $j_{\text{уст}}$ устанавливаются соответственно двум типам испытаний: испытания типа 0, когда температура, измеренная вблизи поверхности трения тормозного барабана или диска, менее 100 °С (холодные тормоза), и испытания типа I, когда тормозные механизмы разогреты по методике ГОСТ 22895–77 (горячие тормоза).

Нормативные значения $S_{\text{ост}}$ и $j_{\text{уст}}$ для рабочей системы автомобилей, находящихся в эксплуатации, соответствуют испытаниям типа 0.

1.1. Замедление при торможении автомобиля

Величина замедления автомобиля при торможении j_3 , м/с² (без учета знака), определяется по формуле

$$j_3 = \frac{M_T / r_k + mg\psi_{\text{пр}} + kFv^2 / 13}{m\delta_{\text{вр}}}, \quad (1)$$

где M_T – суммарный тормозной момент всех колес, Н · м;

r_k – радиус колеса, м;

m – масса автомобиля, кг;

g – ускорение свободного падения, м/с²;

$\psi_{\text{пр}}$ – приведенный коэффициент дорожного сопротивления;

k – коэффициент сопротивления воздуха, Н · с²/м⁴;

F – площадь лобового сопротивления автомобиля, м²;

v – скорость автомобиля, км/ч;

$\delta_{\text{вр}}$ – коэффициент учета вращающихся масс.

Суммарный тормозной момент M_T кроме моментов тормозных механизмов может включать и тормозной момент двигателя. Если при движении автомобиля отпустить педаль акселератора, не отсоединяя двигатель от трансмиссии, то двигатель перейдет на тормозной режим (режим принудительного холостого хода).

Если считать, что тормозные механизмы обеспечивают тормозную силу большую, чем сила сцепления колес с дорогой, то максимально возможное замедление автомобиля, ограниченное сцепными качествами, определяется по зависимости

$$j_3 = \frac{mg(\varphi + \psi_{\text{пр}}) + kFv^2 / 13}{m\delta_{\text{вр}}}, \quad (2)$$

где φ – коэффициент сцепления.

При интенсивном торможении скорость автомобиля быстро уменьшается, поэтому при определении замедления автомобиля сопротивлением воздуха пренебрегают. Также при торможении автомобиля только тормозными механизмами можно пренебречь коэффициентом $\psi_{пр}$ и принять коэффициент $\delta_{вр} = 1$. Тогда максимально возможное замедление можно определить по приближенной зависимости

$$j_{уст} = g\varphi. \quad (3)$$

Если при торможении коэффициент сцепления не меняется, то величина замедления остается постоянной независимо от скорости движения. Чем лучше состояние дорожного покрытия, тем больше может быть замедление при торможении. На твердых сухих дорогах максимальное замедление на горизонтальных участках может достигать 8...9 м/с. Дождь, грязь, гололедица и другие факторы, отрицательно влияющие на сцепление шин с дорогой, резко снижают интенсивность торможения.

1.2. Время торможения и тормозная диаграмма автомобиля

Процесс торможения состоит из нескольких этапов, которые могут быть описаны с помощью тормозной диаграммы – графика зависимости замедления j_z , скорости v и тормозного пути S от времени t (рис. 1).

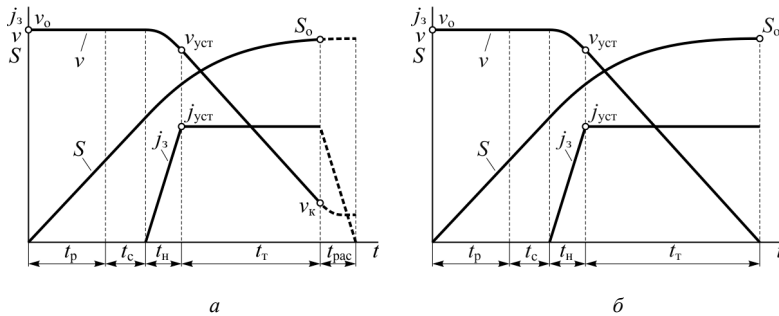


Рис. 1. Тормозная диаграмма автомобиля: а – торможение до скорости v_k ; б – торможение до полной остановки

Время, в течение которого водитель осознает необходимость торможения и переходит к непосредственным действиям, называется временем реакции водителя t_p . Величина этого времени зависит от квали-

фикации водителя, его возраста, степени утомленности, психологического состояния и т. д. и колеблется в пределах $0,2 \dots 1,5$ с.

После нажатия водителем педали тормоза какое-то время, называемое временем срабатывания тормозного привода t_c , затрачивается на перемещение элементов тормозного привода, нарастание давления жидкости или воздуха в тормозной системе и перемещение колодок до соприкосновения с тормозными дисками или барабанами. Время t_c зависит от типа тормозного привода и тормозных механизмов, а также технического состояния тормозной системы. У технически исправной тормозной системы с гидроприводом и дисковыми тормозными механизмами время t_c составляет $0,05 \dots 0,07$ с, с барабанными – $0,15 \dots 0,20$ с. У системы с пневмоприводом $t_c = 0,2 \dots 0,6$ с.

В течение времени $t_p + t_c$ автомобиль не тормозит, замедление $j_z = 0$. Скорость движения v при этом остается постоянной и равной начальной скорости v_0 . Тормозной путь S нарастает по прямолинейной зависимости.

С момента соприкосновения фрикционных элементов тормозных механизмов начинает возрастать тормозная сила, в результате чего замедление увеличивается от нуля до значения $j_{уст}$, соответствующего установившейся величине сил в тормозных механизмах. Время, затрачиваемое на этот процесс, называют временем нарастания тормозного усилия t_n . Для исправных тормозов время t_n принимает значения $0,05 \dots 0,2$ с у легковых автомобилей, $0,05 \dots 0,4$ и $0,15 \dots 1,5$ с у грузовых автомобилей с гидро- и пневмоприводом тормозов.

В расчетах принимается, что за время t_n замедление нарастает по линейному закону, в конце участка достигая величины $j_{уст}$. В результате происходит падение скорости движения автомобиля до величины $v_{уст}$ по квадратичной зависимости.

Скорость $v_{уст}$, км/ч, определяется по зависимости

$$v_{уст} = v_0 - 1,8j_{уст}t_n. \quad (4)$$

Уравнение тормозного пути в этой зоне описывается уравнением третьей степени.

После достижения максимального усилия на педаль тормоза автомобиль движется в течение времени t_t с максимальным постоянным замедлением $j_{уст}$. Время торможения t_t с величиной замедления $j_{уст}$ называется временем установившегося замедления. Поскольку во время t_t величина замедления $j_{уст}$ остается постоянной, то скорость дви-

жения падает по линейной зависимости, а тормозной путь изменяется по квадратичной зависимости.

Если торможение происходит со снижением скорости до величины v_k , то после отпущения педали тормоза замедление j_3 снижается до нуля за время t_{pac} (см. рис. 1, *a*). Время t_{pac} от начала отпущения тормозной педали до возникновения зазоров между фрикционными элементами называется временем растормаживания, которое при гидравлическом приводе составляет примерно 0,2 с, при пневматическом – 0,5...1,5 с.

Когда торможение проводится до полной остановки автомобиля, то считают, что в момент остановки замедление уменьшается до нуля практически мгновенно. Тогда время растормаживания t_{pac} в расчетах не учитывается (см. рис. 1, *б*). В этом случае общее время замедления определяется по зависимости

$$t_o = t_p + t_c + t_n + t_T. \quad (5)$$

1.3. Тормозной путь автомобиля

Из показателей тормозных свойств автомобиля наибольший интерес представляет тормозной путь, так как, начиная тормозить, водитель ориентируется на расстояние, отделяющее его от места предполагаемой остановки.

Общий тормозной путь S_o , м, складывается из пути, пройденного автомобилем за весь процесс торможения:

$$S_o = S_p + S_c + S_n + S_T, \quad (6)$$

где S_p , S_c , S_n , S_T – путь, проходимый автомобилем соответственно за время t_p , t_c , t_n и t_T .

В течение времени $t_p + t_c$ автомобиль движется с постоянной начальной скоростью v_o , поэтому путь автомобиля за это время

$$S_p + S_c = v_o(t_p + t_c)/3,6. \quad (7)$$

Путь, пройденный автомобилем за время t_n , определяется по формуле

$$S_n = \frac{v_o t_n}{3,6} - \frac{j_{уст} t_n^2}{6}. \quad (8)$$

Путь S_T , пройденный за время t_T , определяется по зависимости

$$S_{\text{т}} = \frac{v_{\text{уст}}^2}{26j_{\text{уст}}}. \quad (9)$$

Таким образом, с учетом зависимостей (3) и (4) общий тормозной путь рассчитывается по формуле

$$S_o = \frac{v_o(t_p + t_c + 0,5t_n)}{3,6} + \frac{v_o^2}{26\phi g} - \frac{gt_n^2}{24}. \quad (10)$$

Зависимость общего тормозного пути от начальной скорости движения является квадратичной и может быть представлена в виде диаграммы. По этой зависимости удобно определять соответствующую дистанцию безопасности движения в заданных дорожных условиях, чтобы при торможении движущегося впереди транспортного средства избежать столкновения. Данная зависимость позволяет оценивать возможность наезда на какое-либо препятствие, возникшее на дороге.

2. ИСПЫТАНИЯ АВТОМОБИЛЯ НА ТОРМОЖЕНИЕ

2.1. Общие требования к проведению испытаний

Автомобиль, предназначенный для испытаний, должен соответствовать требованиям технической документации на автомобиль (ТДА). Автомобиль должен быть загружен балластом в соответствии с его номинальной грузоподъемностью. Масса груза для автомобилей полной массой до 3,5 т должна составлять половину полной массы груза, но не менее 180 кг; для автомобилей полной массой свыше 3,5 т – полную массу груза. Распределение массы по осям (колесам) должно соответствовать требованиям ТДА.

Перед началом испытаний все агрегаты автомобиля должны быть прогреты до рабочей температуры, что достигается при его пробеге по участку дороги длиной около 50 км в течение 0,5...1 ч. Давление воздуха в шинах колес должно соответствовать требованиям ТДА.

Измерительный участок должен быть длиной 1 000 м, прямолинейным, горизонтальным, с цементно- или асфальтобетонным гладким покрытием (допустимы неровности с уклонами не более 0,5 %).

Дорожные испытания проводятся при соблюдении следующих условий: отсутствие осадков; скорость ветра – не более 3 м/с (допускаются порывы до 5 м/с); температура воздуха – в пределах 5...25 °С;

атмосферное давление – в пределах 730...770 мм рт. ст.; относительная влажность воздуха – не выше 95 %.

Испытательные заезды на каждой из начальных скоростей выполняются в двух противоположных направлениях. За результат испытаний принимают средние значения результатов заездов.

2.2. Приборы и оборудование для проведения испытаний

Для испытания автомобиля на торможение в дорожных условиях применяется экспериментальная установка с измерителем «пятое колесо» (рис. 2). Кронштейн колеса 2 присоединяется карданным шарниром 4 к прицепному устройству автомобиля 5 и прижимается к дороге пружиной 3. Также на кронштейне установлено два прерывателя 1 батарейной системы зажигания. Кулачковые валы прерывателей приводятся во вращение от колеса через специальный редуктор. Радиус колеса и передаточное число редуктора подобраны так, что контакты прерывателей замыкаются и размыкаются через каждые 0,1 м пути, пройденного автомобилем.

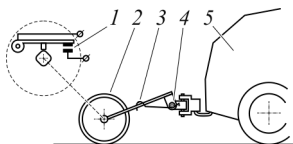


Рис. 2. Измеритель «пятое колесо»:
1 – прерыватель; 2 – колесо; 3 – пружина;
4 – карданный шарнир; 5 – автомобиль

Контакты прерывателя SA3 (рис. 3) с параллельно соединенным конденсатором C1 и последовательно соединенной катушкой зажигания T1 образуют первую систему зажигания; контакты SA4, конденсатор C2 и катушка зажигания T2 – вторую. Высоковольтные выводы катушек зажигания соединяются высоковольтными проводами с верхними контактами разрядников FV1 и FV2.

Разрядники FV1 и FV2 устанавливаются перпендикулярно бумажной ленте, намотанной на барабаны лентопротяжного механизма 5. Верхние и нижние контакты разрядников размещаются так, что лента проходит между ними. Электродвигатель M совместно с редуктором лентопротяжного механизма обеспечивает движение ленты с постоянной скоростью 0,2 м/с.

На педаль тормоза монтируется два концевых выключателя – SA1 и SA2. Выключатель SA1 срабатывает при полностью отпущенной педали, SA2 – при полностью нажатой.

Установка включается кнопкой SB1.

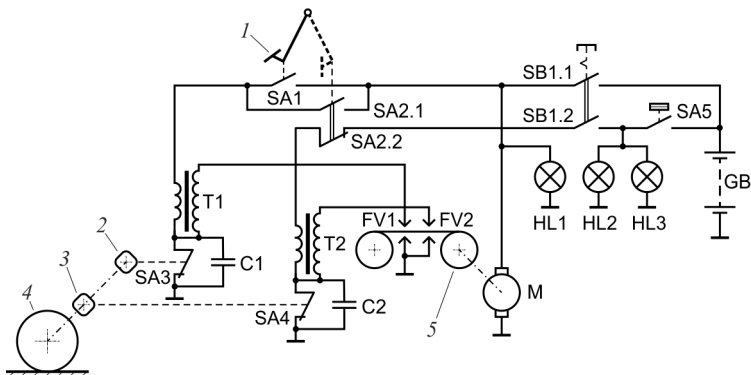


Рис. 3. Схема экспериментальной установки: 1 – педаль тормоза; 2, 3 – кулачок прерывателя; 4 – «пятое колесо»; 5 – лентопротяжной механизм

При нажатии на кнопку SB1 ток от аккумуляторной батареи GB через замкнутые контакты SB1.1 поступает на мотор лентопротяжного механизма. Бумажная лента с постоянной скоростью начинает перемазываться с одного барабана на другой. Одновременно загорается сигнальная лампочка HL1.

При отпущенной педали тормоза ток через замкнутые контакты выключателя SA1 поступает на первичную обмотку катушки зажигания T1 и контакты прерывателя SA3. Кулачок прерывателя 2 с приводом от «пятого колеса» 4 размыкает контакты SA3. При размыкании контактов прерывателя во вторичной обмотке катушки зажигания создается ЭДС большой величины. Высоковольтное напряжение подается на верхний контакт разрядника FV1. В результате между верхним и нижним контактами разрядника проскакивает искра, пробивая бумагу и образуя ряд отверстий в полосе I на отрезке *ab* (рис. 4).

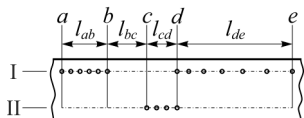


Рис. 4. Фрагмент бумажной ленты с отверстиями

Расстояние между соседними отверстиями дает представление о времени, необходимом для прохождения пути в 0,1 м: 1 мм бумажной ленты эквивалентен времени, равному 0,005 с. Длина отрезка *ab* (l_{ab}) соответствует времени реакции водителя t_p . Количество интервалов

между отверстиями n_{ab} характеризует пройденный автомобилем путь S_p за время t_p .

При нажатии на педаль тормоза контакты SA1 (см. рис. 3) замыкаются, ток на катушку зажигания T1 не подается, и искрообразование в разряднике FV1 прекращается (отрезок bc на рис. 4). Расстояние l_{bc} дает представление о времени срабатывания тормозного привода t_c .

После срабатывания тормозного привода замыкаются контакты выключателя стоп-сигналов SA5 (см. рис. 3) и загораются лампы стоп-сигналов HL2 и HL3. Через замкнутые контакты SA5, SB1.2 и SA2.2 ток подается на катушку зажигания T2 и контакты прерывателя SA4. При размыкании контактов SA4 кулачком 3 начинает искрить разрядник FV1, пробивая в бумаге ряд отверстий в полосе II на отрезке cd (см. рис. 4). Замеряя расстояние l_{cd} и количество интервалов n_{cd} , определяют время нарастания тормозного усилия t_n и соответствующий ему путь S_n .

Когда педаль тормоза будет полностью нажата, сработает концевой выключатель SA2 (см. рис. 3). Контакты SA2.2 разомкнутся, ток в цепи катушки зажигания T2 исчезнет, и разрядник FV2 прекратит искрообразование. Одновременно через замкнутые контакты SA2.1 ток будет подаваться на первичную обмотку катушки зажигания T1. Искры разрядника FV1 вновь начнут пробивать отверстия в бумаге, позволяя определить время торможения t_t и путь S_t , пройденный за это время (отрезок de на рис. 4).

2.3. Порядок проведения испытаний

После подготовки автомобиля к проведению испытаний и выезда на измерительный участок испытуемый автомобиль разгоняют до начальной скорости $v_0 = 20$ км/ч.

При достижении заданной скорости оператор включает измерительное оборудование кнопкой SB1 (см. рис. 3). Загоревшаяся лампочка HL1 указывает водителю на необходимость начала торможения. Водитель до отказа нажимает на педаль тормоза и удерживает ее нажатой до полной остановки автомобиля. Сразу же после остановки оператор выключает приборы.

Опыт повторяется при движении автомобиля в обратном направлении. Далее автомобиль производит торможение при начальной скорости 30, 40, 50 и 60 км/ч.

После проведения опытов рулон бумаги снимается с лентопротяжного механизма. Для каждого опыта замеряются величины отрезков

ab , bc , cd и de (l_{ab} , l_{bc} , l_{cd} и l_{de} на рис. 4), а также число интервалов между отверстиями n_{ab} , n_{cd} , n_{de} на каждом отрезке (за исключением bc , в котором искрообразование не производится).

Результаты измерений заносятся в табл. 1.

Таблица 1. Экспериментальные данные

v_0 , км/ч	Направление движения	l_{ab} , мм	n_{ab} , инт.	l_{bc} , мм	l_{cd} , мм	n_{cd} , инт.	l_{de} , мм	n_{de} , инт.
	Прямое							
	Обратное							
	Среднее							

Для каждой начальной скорости v_0 определяются средние значения величин как полусумма значений опытных данных при движении в прямом и обратном направлениях.

По средним значениям величин табл. 1 рассчитываются показатели торможения.

Время t_p определяется по зависимости

$$t_p = l_{ab} K_t, \quad (11)$$

где K_t – масштабный коэффициент времени, $K_t = 0,005$ с/мм.

Аналогично рассчитывается время t_c , t_n и t_T :

$$t_c = l_{bc} K_t; \quad (12)$$

$$t_n = l_{cd} K_t; \quad (13)$$

$$t_T = l_{de} K_t. \quad (14)$$

Путь S_p определяется по зависимости

$$S_p = n_{ab} K_S, \quad (15)$$

где K_S – масштабный коэффициент пути, $K_S = 0,1$ м/инт.

Аналогично рассчитывается путь S_n и S_T :

$$S_n = n_{cd} K_S; \quad (16)$$

$$S_T = n_{de} K_S. \quad (17)$$

Путь S_c определяется по зависимости

$$S_c = \frac{v_0 t_c}{3,6}. \quad (18)$$

Величина замедления $j_{\text{уст}}$ определяется по формуле

$$j_{\text{уст}} = \frac{v_0}{3,6(0,5t_n + t_T)}. \quad (19)$$

Коэффициент сцепления φ определяется по уравнению

$$\varphi = 0,004 \frac{v_{\text{уст}}^2}{S_T}. \quad (20)$$

Скорость $v_{\text{уст}}$ рассчитывается по зависимости

$$v_{\text{уст}} = 3,6 j_{\text{уст}} t_T. \quad (21)$$

Результаты расчетов заносятся в табл. 2.

Таблица 2. Расчетные данные

v_0 , км/ч	t_p , с	t_c , с	t_n , с	t_T , с	t_0 , с	S_p , м	S_c , м	S_n , м	S_T , м	S_0 , м	$j_{\text{уст}}$, м/с ²	φ	$v_{\text{уст}}$, км/ч

По данным табл. 2 строится тормозная диаграмма автомобиля для начальной скорости движения $v_0 = 40$ км/ч (рис. 5).

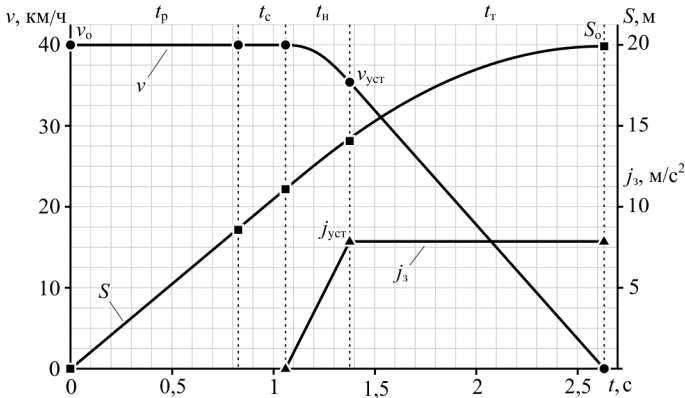


Рис. 5. Тормозная диаграмма автомобиля (пример)

Также по данным табл. 2 строится график зависимости общего тормозного пути S_o и замедления $j_{уст}$ от начальной скорости v_o в интервале скоростей 20...60 км/ч (рис. 6).

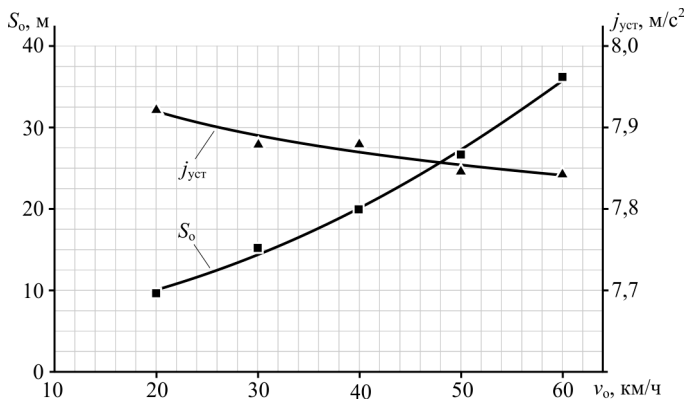


Рис. 6. Зависимость общего тормозного пути и замедления от начальной скорости (пример)

3. МОДЕЛИРОВАНИЕ ПРОЦЕССА ТОРМОЖЕНИЯ НА КОМПЬЮТЕРЕ

Компьютерная программа моделирования процесса торможения *Tormoz.exe* предназначена для расчета и построения тормозной диаграммы автомобиля. Также она позволяет рассчитать и построить зависимость общего тормозного пути от начальной скорости движения.

Для построения тормозной диаграммы после запуска программы необходимо с помощью мыши щелкнуть по кнопке «Тормозная диаграмма». Компьютер, используя входные данные, расположенные в нижней части окна программы, и формулы, приведенные в разделе 1, рассчитает и построит тормозную диаграмму автомобиля при торможении до полной остановки (рис. 7). При отключенном ручном масштабировании разметка шкал выбирается автоматически таким образом, чтобы линии на диаграмме занимали максимальную площадь.

В правой части окна программы выводятся основные показатели тормозной диаграммы: величина замедления $j_{уст}$, время торможения t_T с данным замедлением, общее время торможения t_o , путь, проходимый автомобилем на всех этапах торможения (S_p , S_c , S_n , S_T), и общий тормозной путь S_o .

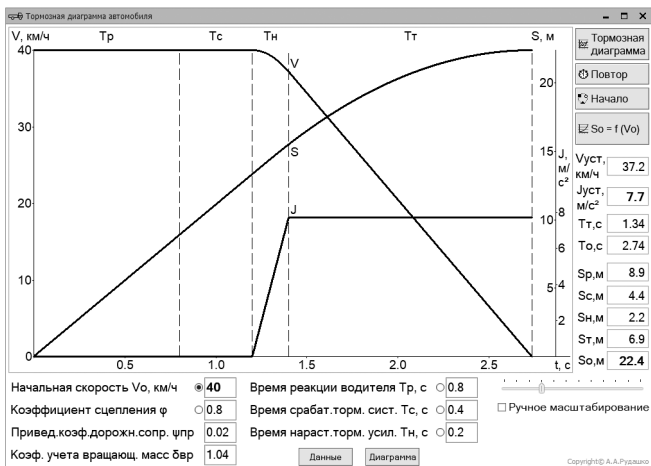


Рис. 7. Окно программы при построении тормозной диаграммы в режиме автоматического масштабирования

Программа позволяет исследовать влияние различных показателей системы водитель – автомобиль – дорога на процесс торможения. После изменения какого-либо показателя следует щелкнуть по кнопке «Тормозная диаграмма», чтобы компьютер перестроил тормозную диаграмму на основании новых данных. Это позволяет оценить влияние изменяемого показателя на динамику торможения.

Для удобства изменения входных данных предназначен специальный движок, расположенный в правой нижней части окна программы. При перемещении движка с помощью мыши изменяется показатель, выбранный соответствующим переключателем, расположенным возле этого показателя. При этом тормозная диаграмма перестраивается автоматически.

Режим автоматического масштабирования разметки шкал не обладает достаточной наглядностью для оценки влияния на процесс торможения показателя, изменяемого движком. В этом случае рекомендуется включить режим ручного масштабирования (рис. 8). Тогда масштаб шкал будет выбираться исходя из максимальных значений расчетных показателей (v_{\max} , S_{\max} , j_{\max} , t_{\max}). Поля ввода этих показателей появляются в правой нижней части окна программы при включении ручного режима масштабирования. При этом компьютер заполня-

ет поля рекомендуемыми значениями, которыми также можно задаваться вручную для изменения масштаба соответствующих шкал.

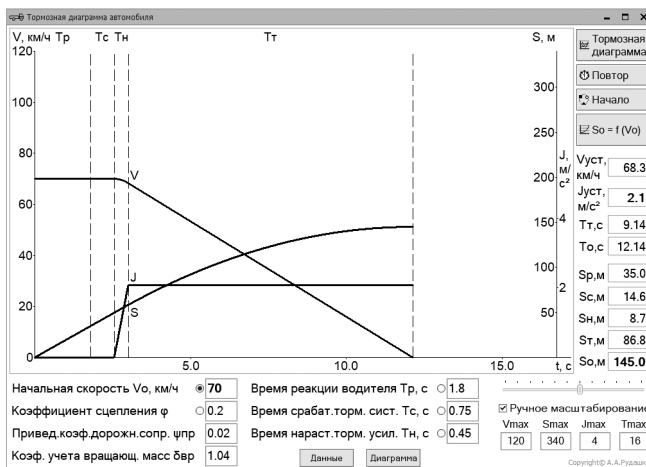


Рис. 8. Окно программы при построении тормозной диаграммы в режиме ручного масштабирования

В программе заложена проверка корректности ввода данных. Если какое-либо число будет введено с ошибкой, программа выдаст соответствующее сообщение, затем вернется в нужное поле ввода и выделит ошибочно введенный символ.

Щелчок по кнопке «Повтор» дает возможность повторить построение тормозной диаграммы автомобиля в замедленном режиме (время повтора – приблизительно 25 с). При построении диаграммы динамически отображаются время торможения, замедление, скорость и тормозной путь. Чтобы оценить текущее состояние процесса торможения, в любой момент времени построение можно остановить щелчком по кнопке «Пауза» (появляется вместо кнопки «Повтор»). Повторный щелчок продолжает построение диаграммы. Щелчок по кнопке «Сброс» (появляется вместо кнопки «Тормозная диаграмма») приводит к завершению построения диаграммы в замедленном режиме.

Щелчок по кнопке «Начало» возвращает входные данные к начальным значениям, установленным компьютером при запуске программы.

Зависимость общего тормозного пути S_0 от начальной скорости движения v_0 рассчитывается и строится после щелчка по кнопке « $S_0 = f(v_0)$ » (рис. 9).

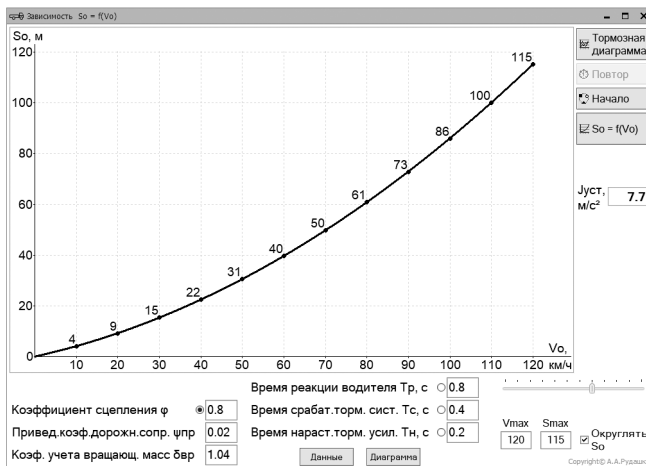


Рис. 9. Окно программы при построении зависимости S_0 от v_0

Значения пути S_0 для характерных точек скорости v_0 отображаются непосредственно на графике $S_0 = f(v_0)$. Для наглядности эти значения округляются до 1 м. При необходимости можно повысить точность вывода данных до 0,1 м, отключив опцию «Округлять S_0 ».

Расчет тормозного пути производится до максимальной скорости v_{max} , величину которой можно изменить в соответствующем поле ввода. В соседнем поле приводится значение максимального тормозного пути S_{max} при скорости v_{max} .

Как и при построении тормозной диаграммы автомобиля, перемещение движка вызывает изменение выбранного переключателем показателя и автоматическое перестроение графика $S_0 = f(v_0)$. Это дает возможность оценить влияние скорости движения на тормозной путь при различных значениях показателей системы водитель – автомобиль – дорога, что, в свою очередь, позволяет рассчитать безопасные по тормозным свойствам скорости движения на разных участках дороги и определить среднюю скорость движения автомобиля по всему пути.

4. ПОРЯДОК ВЫПОЛНЕНИЯ РАБОТЫ

1. Изучить теоретические основы процесса торможения.
2. Ознакомиться с испытуемым автомобилем, экспериментальной установкой, методикой испытаний. Зарядить лентопротяжный механизм рулоном бумаги.
3. Выехать на измерительный участок.
4. Водителю разогнать автомобиль до заданной скорости.
5. Студенту включить питание экспериментальной установки.
6. Водителю выполнить экстренное торможение автомобиля до полной остановки.
7. Студенту выключить питание экспериментальной установки.
8. Водителю развернуть автомобиль. Выполнить пункты 4...7 при движении в обратном направлении.
9. Выполнить пункты 4...8 для пяти начальных скоростей движения.
10. Вернуться с измерительного участка в лабораторию. Извлечь рулон бумаги из лентопротяжного механизма.
11. На бумажной ленте замерить длину отрезков и подсчитать количество интервалов между отверстиями. Результаты измерений занести в табл. 1.
12. Используя данные табл. 1, по формулам (5), (6), (11)...(21) рассчитать показатели тормозных свойств автомобиля.
13. Результаты расчетов занести в табл. 2.
14. По данным табл. 2 построить тормозную диаграмму автомобиля и зависимость общего тормозного пути и замедления от начальной скорости.
15. Запустить на компьютере программу моделирования процесса торможения `Tormoz.exe`. Изменяя входные данные, исследовать влияние различных факторов на эффективность процесса торможения.

5. ОТЧЕТ ПО РАБОТЕ

1. Привести оценочные показатели тормозных свойств автомобиля.
2. Изобразить схему экспериментальной установки.
3. Подготовить табл. 1 и 2 для выполнения пяти опытов.
4. Привести расчетные формулы (5), (6), (11)...(21).
5. Обработать результаты испытаний и заполнить таблицы.
6. Построить тормозную диаграмму автомобиля для начальной скорости 40 км/ч.

7. Построить зависимость общего тормозного пути и замедления от начальной скорости.

8. Проанализировать построенные графики.

6. КОНТРОЛЬНЫЕ ВОПРОСЫ

1. Назовите оценочные показатели тормозных свойств автомобиля.

2. Перечислите способы и режимы торможения автомобиля.

3. Из каких этапов состоит процесс торможения?

4. Какие показатели регистрируются в ходе испытаний по определению тормозных свойств автомобиля?

5. Какие показатели определяются по результатам испытаний по определению тормозных свойств автомобиля?

6. Какие факторы влияют на эффективность торможения?

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Автомобили: Испытания : учеб. пособие / В. М. Беляев [и др.]; под ред. А. И. Гришкевича. – Минск : Выш. шк., 1991. – 187 с.
2. Автотранспортные средства. Требования к техническому состоянию по условиям безопасности движения. Методы проверки : ГОСТ 25478–91. – Введ. 01.07.93. – Москва : Госстандарт СССР: Изд-во стандартов, 1992. – 32 с.
3. Карташевич, А. Н. Теория автомобилей и двигателей : учеб. пособие / А. Н. Карташевич, Г. М. Кухаренок, А. А. Рудашко. – Минск : РИПО, 2018. – 307 с.
4. Кравченко, В. А. Испытания автомобилей и тракторов : лаб. практикум / В. А. Кравченко, В. А. Оберемок. – зерноград : ФГБОУ ВПО АЧГАА, 2016. – 169 с.
5. Литвинов, А. С. Автомобиль: Теория эксплуатационных свойств : учебник / А. С. Литвинов, Я. Э. Фаробин. – Москва : Машиностроение, 1989. – 240 с.
6. Тормозные системы и тормозные свойства автотранспортных средств. Нормативы эффективности. Общие технические требования : ГОСТ 22895–77. – Введ. 01.01.81. – Москва : Госстандарт СССР: Изд-во стандартов, 1993. – 22 с.