

К. Т. Старовойтов, Г. Г. Давыдулин, В. И. Живулькин

О НАДЕЖНОСТИ ТОРМОЗНЫХ СРЕДСТВ ЛЕСОВОЗНОГО АВТОПОЕЗДА

Работа лесовозного автомобильного транспорта в условиях Белоруссии имеет свои характерные особенности: вывозка леса осуществляется большегрузными автомобилями повышенной проходимости; движение автопоездов происходит в общем потоке всех транспортных средств, — эксплуатируемые дороги в значительной степени различаются по категориям, типам дорожных покрытий, элементам и параметрам плана и профиля.

Пункты потребления древесины и нижние склады лесозаготовительных предприятий располагаются в населенных пунктах и городах, доставка леса к ним связана с движением лесовозных автопоездов по улицам и дорогам со значительным потоком различных транспортных средств и пешеходов.

Дальнейший рост и развитие автомобильного лесовозного транспорта в республике неразрывно связаны с безопасностью движения лесовозных автомобилей. Особое внимание в безопасности движения уделяется вопросам торможения и тормозных систем автомобилей. Состояние тормозов, их технические возможности и эффективность в большинстве аварийных ситуаций определяют возможности, которыми располагает водитель для принятия мер по предотвращению дорожно-транспортных происшествий.

Вывозка леса в Белоруссии производится лесовозными автопоездами, состоящими из автомобилей-тягачей МАЗ и нетормозных прицепов-ропусков марки 2-Р-15.

В данной работе произведен анализ тормозных средств лесовозных автопоездов с двумя типами прицепов-ропусков: при наличии тормозной системы на прицепе и автопоезда с бестормозными прицепами.

При эксплуатации лесовозных автопоездов различают два вида торможения. Если требуется остановить автопоезд в заранее

намеченном месте, то такое торможение, называемое служебным, выполняется спокойно постоянным нажатием на педаль тормоза и за сравнительно большой промежуток времени. Наибольшее значение для безопасности движения имеет экстренное торможение, или аварийное торможение для быстрой остановки автопоезда.

Рассмотрим вопросы по определению тормозных путей автопоезда при экстренном торможении.

Условие, при котором возможно использование максимальных тормозных сил на передних и задних колесах автомобиля-тягача, находится из ограничения величины силы сцепления шины с дорогой:

$$P_{\kappa_1} + N_1 f = N_1 \varphi, \quad (1)$$

$$P_{\kappa_2} + N_2 f = N_2 \varphi,$$

или, что то же самое, ускорение (замедление) ограничено предельным возможным значением

$$a \leq g(\varphi + f), \quad (2)$$

где $P_{\kappa_1}, P_{\kappa_2}$ — тормозные силы, возникающие при включении тормозной системы; N_1, N_2 — реакции дороги на передние и задние колеса автомобиля-тягача; f — коэффициент сопротивления качению; φ — коэффициент сцепления колес с дорогой; a — ускорение (замедление) движущихся масс; g — ускорение свободного падения.

Если равенства (1) и (2) не будут выполнены, то торможение автопоезда будет сопровождаться скольжением колес, и автомобиль как бы обратится из колесного транспортного средства в санное, и эффективность его торможения резко снизится.

Ухудшение торможения объясняется тем, что с момента остановки колес (блокировки) трение в тормозах как фактор поглощения кинетической энергии автомобиля исключается и для торможения в этом случае используется лишь трение шин на дороге, определяемое коэффициентом трения скольжения.

Опасность блокировки колес при торможении состоит не только в увеличении тормозного пути, но опасное и тем, что при этом появляется боковой занос автомобиля. Особенно опасна блокировка передних колес автомобиля, ибо они не обеспечивают изменения направления движения, так как будут скользить, а не катиться.

Исходя из вышесказанного, можно сформулировать важнейшее условие использования тормозов с оптимальной эффективностью и гарантией безопасности движения — максимальная тормозная сила, возникающая на колесах автомобиля, не должна превосходить наибольшей силы сцепления шин с дорогой.

Если условия (1) и (2) выполняются, то торможение автопоезда будет сопровождаться вращением заторможенных колес. Тогда тормозной путь для различной нагрузки и различных условий воздействия шин с дорогой в предположении, что коэффициент трения качения величина постоянная, можно определить по формуле, предложенной Беленьким Ю.Б.:

$$S = v_0 t_0 + \frac{v_0 t_1}{2} + \frac{v_0^2}{2a} - \frac{a t_1^2}{24};$$

где S — тормозной путь; v_0 — скорость автопоезда в начале торможения, м/с; t_0 — время заполнения тормозной системы воздухом (по опытным данным завода $t_0 = 0,1$ с); t_1 — время срабатывания тормозного привода ($t_1 = 0,5$ с); a — ускорение замедления, м/с².

Если условие (1) — (2) не выполняется, т.е. $a > g(f + \varphi)$, то значение не может быть реализовано, так как $a_{\max} = g(f + \varphi)$ является пределом и никакого большего значения замедления получить невозможно. В этом случае движение будет проходить на режиме "Юза" и время полного срабатывания тормозов определяется из выражения

$$t_1' = t_1 \frac{g(\varphi + f)}{a}$$

Тормозной путь определяется по приведенной выше формуле, но вместо t_1 подставляется значение t_1' .

Пользуясь вышеизложенными формулами, определим тормозные пути автопоезда в составе тягача МАЗ-509+прицеп-роспуск 2-Р-15 в груженом и порожнем состоянии. Тормозные пути определим для дорог с различными типами покрытий (асфальтобетон, гравийное, грунтовое), предварительно проверив исполнение условий использования максимальной тормозной силы и максимального тормозного замедления, т.е. условия, определенные формулами. В расчетах применим следующие значения коэффициентов $f = 0,02$; $J = 0,4 + 0,7$. Вычисленные тормозные пути сведем в табл. 1.

Таблица 1

Зависимость длины тормозного пути от скорости движения

км/ч V_0	Типы дорожных покрытий		грунтовая дорога
	асфальтобетон	гравийное	
	<u>Груженный автопоезд</u>		
10	3,3	3,0	3,1
15	6,4	5,9	6,2
20	8,9	8,2	8,5
25	14,9	13,2	14,2
30	20,5	18,6	19,5
35	27	24,5	25,9
40	31,5	30,7	32,5
	<u>Автопоезд в порожнем состоянии</u>		
10	2,3	3,2	2,2
15	4,1	3,9	4
20	5,4	5,2	5,3
25	8,5	8,2	8,3
30	11,3	11	11,7
35	14,9	14,1	14,4
40	23,2	21,6	19,8

Полученные аналитическим путем значения длин тормозных путей автопоезда и их зависимости от скоростей движения свидетельствуют о том, что длина тормозного пути зависит от нагрузки автопоезда.

Длина тормозных путей автопоездов, полученная аналитическим способом, будет несколько отличаться от длины путей, полученных в результате экспериментальных исследований.

Для уточнения данного положения нами были проведены полевые испытания по определению длины тормозного пути лесовозных автопоездов. В период подготовки к исследованию тормозных качеств автопоезда нами были произведены следующие замеры тормозной динамики: тормозной путь $S_{\text{т}}$ (м), т.е. путь, проходимый автопоездом с момента нажатия на педаль тормоза до полной остановки автомобиля; время торможения; замедление при торможении.

Эти измерители позволили оценить и сравнить тормозные качества автопоездов различных конструкций и характеризовать полученные данные с точки зрения безопасности движения.

В соответствии с методикой проведенных испытаний нами определялись тормозные пути лесовозных автопоездов в следующих вариантах: автопоезд на базе автомобиля МАЗ-509 + тормозной прицеп-ропуск 2-Р-15; автопоезд на базе автомашины МАЗ-509 + нетормозной прицеп-ропуск.

Дорожные участки для проведения тормозных испытаний подбирались горизонтальные с покрытиями, не имеющими деформаций. Были подобраны дорожные участки: 1) с асфальтовым покрытием (рис. 1); 2) гравийным покрытием (рис. 2); 3) грунтовой дороги (рис. 3).

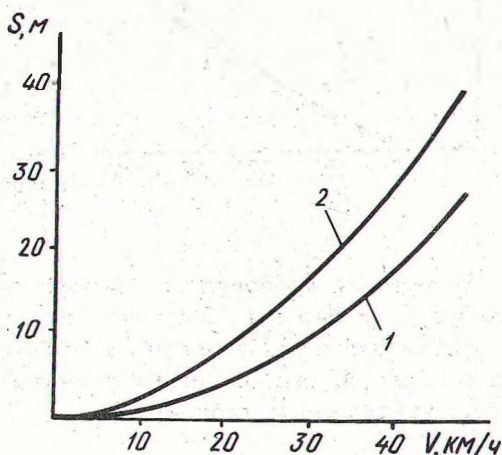


Рис. 1. Зависимость тормозного пути от скорости движения. Грузеный автопоезд, покрытие дороги асфальтобетонное: 1 — автопоезд с тормозным прицепом; 2 — автопоезд с нетормозным прицепом.

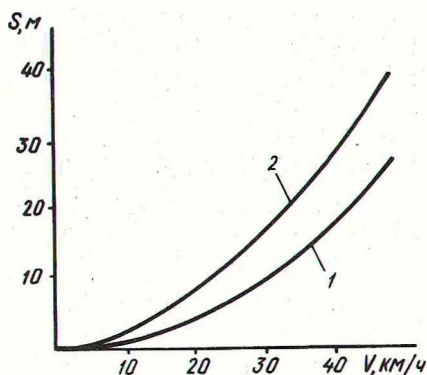


Рис. 2. Зависимость тормозного пути от скорости движения. Грузный автопоезд, гравийное покрытие дороги: 1—автопоезд с тормозным прицепом; 2—автопоезд с нетормозным прицепом.

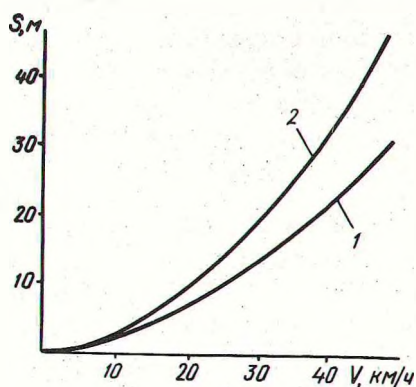


Рис. 3. Зависимость тормозного пути от скорости движения. Грузный автопоезд, грунтовая дорога: 1—автопоезд с тормозным прицепом; 2—автопоезд с нетормозным прицепом.

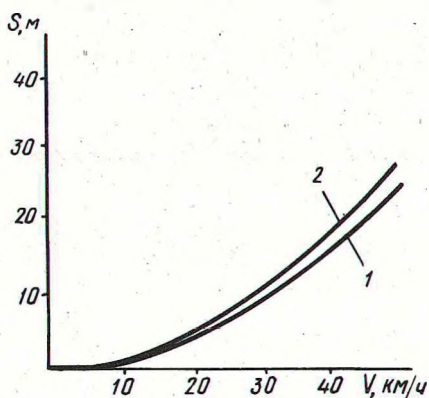


Рис. 4. Зависимость тормозного пути от скорости движения. Автопоезд без груза, покрытие асфальтобетонное: 1—автопоезд с тормозным прицепом; 2—автопоезд с нетормозным прицепом.

Испытания проводились на лесовозном автопоезде с полной нагрузкой и без нее. Зависимости длины тормозных путей от скорости движения занесены в табл. 2 и 3. Для построения графиков (рис. 4, рис. 5, рис. 6) приняты средние длины тормозного пути, указанные в табл. 2 и 3.

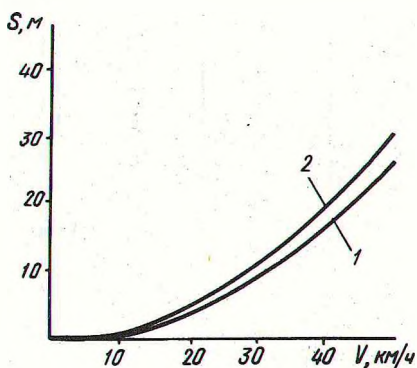


Рис. 5. Зависимость тормозного пути от скорости движения. Автопоезд без груза, покрытие гравийное: 1 — автопоезд с тормозным прицепом; 2 — автопоезд с нетормозным прицепом.

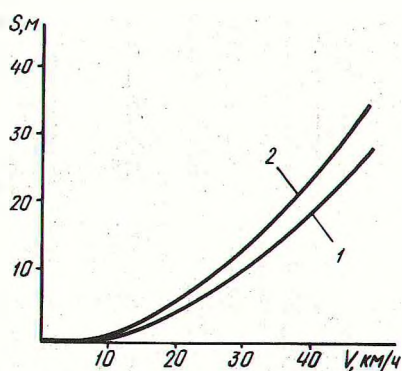


Рис. 6. Зависимость тормозного пути от скорости движения. Автопоезд без груза, грунтовая дорога: 1 — автопоезд с тормозным прицепом; 2 — автопоезд с нетормозным прицепом.

На основании данных значений таблиц, величин v_0 (скорости движения) и $S_{т}$ — длины тормозного пути, построены графики зависимостей.

Проведенные исследования тормозных свойств лесовозных автопоездов позволяют сделать некоторые выводы: тормозной путь автопоезда зависит от скорости движения, с ростом скорости увеличивается длина тормозного пути; автопоезда с тормозными прицепами имеют меньший тормозной путь по сравнению с автопоездами с бестормозными прицепами примерно на 15—25%; автопоезда в груженом положении как с тормозными, так и с бестормозными прицепами имеют тормозной путь больше на 15—20% по сравнению с автопоездами без груза; тормозной путь лесовозных автопоездов зависит от типов дорожных покрытий. Наименьший тормозной путь наблюдается на грунтовых дорогах и значительно увеличивается на дорогах с асфальтобетонным покрытием. Тормозной путь на гравийных покрытиях занимает промежуточное значение по сравнению с асфальтобетонными и грунтовыми дорогами.

Таблица 2

Зависимость длины тормозных путей груженого автопоезда от скорости и дорожных условий

К-во опытов	V ₀ км/ч	Асфальтовое покрытие			Гравийное покрытие			Грунтовая дорога										
		автопоезд с тормозн. прицепом	автопоезд с бестормозн. прицепом	автопоезд с тормозн. прицепом	автопоезд с тормозн. прицепом	автопоезд с бестормозн. прицепом	автопоезд с тормозн. прицепом	автопоезд с бестормозн. прицепом	автопоезд с тормозн. прицепом	автопоезд с бестормозн. прицепом								
	S _к	t, с	S _к , м	спр. знач.	t, с	S _к , м	спр. знач.	t, с	S _к , м	спр. знач.	t, с	S _к , м	спр. знач.					
1 20	4,0	4,1	1,8	6,4	7,8	2,1	7,3	6,8	2,3	10,2	9,0	2,7	6,8	7,4	2,3	11,3		
2 20	4,2		8,7		5,8		8,6		8,2		8,2		8,2		9,4	10,1	3,0	
3 20	4,1		8,3		7,3		8,2		7,2		8,2		7,2		9,6			
4 30	9,8		18,5		14,2		16,9		16,3		16,9		16,3		21,3			
5 30	10,6	10,2	3,2	17,0	17,9	3,7	11,8	13,4	2,9	19,3	18,2	3,4	14,0	14,8	3,1	18,9	19,9	3,7
6 30	10,2		18,2		14,2		18,4		14,1		18,4		14,1		19,5			
7 40	17,6		27,7		20,7		31,4		22,8		31,4		22,8		35,6			
8 40	19,3	18,4	3,8	29,3	28,6	4,5	24,0	22,3	4,0	31,8	32,3	4,2	24,6	23,5	4,0	32,2	33,2	4,7
9 40	18,3		28,8		22,2		33,7		23,1		33,7		23,1		31,8			
10 50	27,2		40,7		30,1		45,7		33,6		45,7		33,6		46,1			
11 50	30,7	28,5	4,7	43,4	42,0	5,1	35,7	32,1	4,6	47,3	46,8	5,3	32,3	33,1	5,2	49,3	48,3	5,7
12 50	27,6		41,9		30,5		47,4		32,4		47,4		32,4		49,5			

Зависимость длины тормозных путей порожнего автопоезда от скорости и дорожных условий

Таблица 3

К-во опы- тов	V ₀ км/ч	Асфальтобетонное пок- рытие		Гравийное покрытие		Грунтовая дорога													
		автопоезд с тормозн. прицепом		автопоезд с тормозн. прицепом		автопоезд с тормозн. прицепом		автопоезд с бестор- мозн. прицепом											
		S _т м	t, с	S _т м	t, с	S _т м	t, с	S _т м	t, с										
1	20	4,2	3,5	1,6	6,0	S _т м	t, с	S _т м	t, с	S _т м	t, с	S _т м	t, с						
						4,4	3,6	4,1	5,3										
2	20	2,8		5,2	4,5	2,0	4,2	3,9	1,8	5,2	4,8	2,1	3,2	3,4	1,8	6,2	5,0	2,2	
3	20	3,5		2,3			3,1		5,6			2,9		3,5					
4	30	8,6		10,2			10,2		10,6			9,0		11,6					
5	30	11,3	9,7	2,8	13,6	11,4	3,2	8,6	9,1	3,0	11,9	11,4	3,1	11,3	9,6	2,7	14,0	12,4	3,5
6	30	9,2		10,4			8,5		11,7			8,5		11,6					
7	40	18,7		20,1			16,6		19,6			16,9		21,7					
8	40	15,3	16,2	3,4	17,3	18,7	4,0	19,3	17,4	3,2	21,3	20,1	4,6	19,2	18,5	3,5	24,5	23,8	4,0
9	40	14,6		18,7			16,3		19,4			19,4		25,2					
10	50	27,6		25,6			27,6		31,8			29,2		34,3					
11	50	28,4	25,1	4,2	30,1	28,8	4,3	28,1	27,0	5,0	34,3	32,2	5,3	27,4	28,8	5,0	37,6	36,0	
12	50	19,3		30,7			25,3		30,5			29,8		36,1					