

различные виды транспорта с использованием интернета – приобрести профессиональные знания и жизненный опыт, который пригодится им в дальнейшем.

Участники практик в Германии, закончившие обучение, успешно продвигаются по карьерной лестнице в ОАО «РЖД», защищают кандидатские диссертации и становятся педагогическими работниками ОмГУПС.

### Список литературы

1. Тэттэр, А.Ю. Организация зарубежной профессионально-ориентированной учебно-ознакомительной практики студентов [Текст] / А.Ю. Тэттэр, Л.Е. Серкова // Демократизация и перспективы развития международного сотрудничества: Материалы международного семинара / Омский государственный педагогический университет. – Омск, 2003. – 210 с.

2. Тэттэр, А.Ю. Новые подходы в организации практической подготовки студентов [Текст] / А.Ю. Тэттэр, В.П. Клюка. – Технологии практико-ориентированного обучения: Материалы межвузовской учебно-методической конференции // Омская академия МВД России. – Омск, 2014. – 227 с.

3. Тэттэр, А.Ю. Совершенствование практической подготовки выпускников в Омском государственном университете путей сообщения [Текст] / А.Ю. Тэттэр, В.П. Клюка, С.М. Овчаренко // Модернизационные процессы в обществе и на железнодорожном транспорте: исторический опыт и современная практика: Материалы всероссийской научно-практической конференции с международным участием / Омский государственный университет путей сообщения. – Омск, 2014. – 584 с.

УДК 629.016:625.032.37 (23)

## К ВОПРОСУ ПОВЫШЕНИЯ БЕЗОПАСНОСТИ ДВИЖЕНИЯ ГРУЗОВЫХ АВТОМОБИЛЕЙ НА ОПАСНЫХ ПОВОРОТАХ ГОРНЫХ ДОРОГ КЫРГЫЗСКОЙ РЕСПУБЛИКИ

*Шаршембиев Жыргалбек Сабырбекович, д.т.н., профессор КГТУ им. И.Раззакова, Кыргызстан, 720044, г.Бишкек, пр. Мира 66, e-mail: jyrgal.krtk@mail.ru*

Цель статьи – изучение процесса движения грузовых автомобилей на опасных поворотах горных дорог. Предложены зависимости по определению критической скорости движения грузовых автомобилей на опасных поворотах горных дорог с продольными и поперечными уклонами.

**Ключевые слова:** грузовые автомобили, критическая скорость движения, устойчивость, опасные повороты, продольный уклон дороги, поперечный уклон дороги, боковое скольжение, поперечное опрокидывание.

## TO THE QUESTION OF INCREASE OF SAFETY OF TRAFFIC OF TRUCKS ON DANGEROUS CURVES OF MOUNTAIN ROADS IN THE KYRGYZ REPUBLIC

*Sharshembiev Zhyrgalbek Sabyrbekovich, Ph. D., Professor of KSTU im. I. Razzakov, Kyrgyzstan, 720044, Bishkek, Mira Ave. 66, e-mail: jyrgal.krtk@mail.ru*

This article aims at studying the process of movement of cargo vehicles on dangerous curves of mountain roads. The dependences on determination of critical speed of trucks on dangerous curves of mountain roads with longitudinal and transverse slopes.

**Keywords:** trucks, critical speed, stability, dangerous turns, the longitudinal road slope, crossfall of the road, the lateral slide, lateral roll-over.

Устойчивость грузовых автомобилей на опасных поворотах горных автомобильных дорог с продольными и поперечными уклонами, прежде всего, зависит от условия устойчивости движения по боковому скольжению и поперечному опрокидыванию. На опасных поворотах горных дорог возникают боковые деформации шин, вследствие чего начинается процесс скольжения ведомых и ведущих колес грузового автомобиля. При повышении значения боковой силы от силы сцепления колес могут возникать боковое скольжение и далее боковое опрокидывание автомобиля, которые напрямую зависят от критической скорости движения. Если автомобиль движется по прямой дороге с постоянной скоростью, то благодаря наличию у нее определенного количества кинетической энергии будет продолжаться ее прямолинейное движение. При появлении поворота возникает центробежная сила. Центробежную силу на повороте горных дорог  $F_{цб}$  можно вычислить по известной формуле:

$$F_{цб} = m_a v^2 / R, \quad (1)$$

где  $m_a$  – масса автомобиля,  $v$  – скорость движения,  $R$  – радиус кривой на повороте.

Скорость движения автомобилей по кривой ограничивается, так как при высоких скоростях происходит занос автомобиля к наружному краю дороги. Для каждой кривой в зависимости от значения радиуса поворота существует критическая скорость движения.

По горному маршруту движения встречается множество опасных поворотов с продольными и поперечными уклонами. Сначала рассмотрим процесс поворота автомобиля на горной дороге с продольным уклоном без поперечного уклона.

При движении на повороте автомобиль начинает скользить, когда центробежная сила  $F_{цб}$ , стремящаяся сдвинуть ее к обочине, превосходит силу сцепления  $F_{сц}$  между шинами и дорогой, удерживающую автомобиля на ее траектории (рис. 1). Следовательно, центробежная сила, параллельная поверхности дороги, равна силе сцепления между шиной и дорогой, т.е. [1, 2, 3]

$$m_a v^2 / R = \varphi m_a g \quad (2)$$

Из условия формулы (2) находим критическую скорость движения грузового автомобиля на опасных поворотах горных дорог без поперечного уклона

$$v_{кр} = \sqrt{\varphi g R} \quad (3)$$

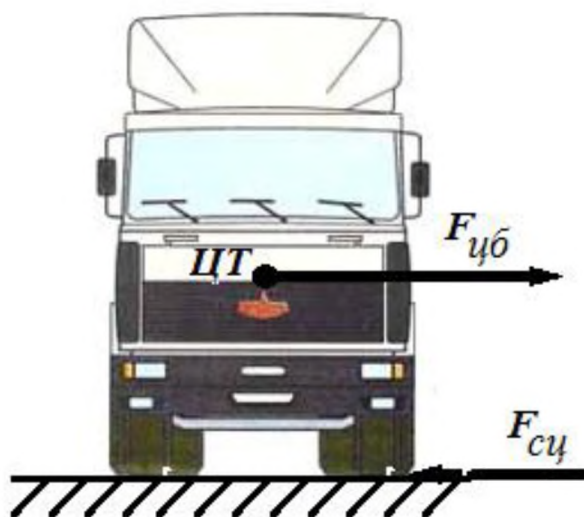


Рис.1 - Схема сил, возникающих при движении по кривой с горизонтальной поверхностью горной дороги:  $F_{цб} = m v^2 / R$  – центробежная сила;  $F_{сц} = m_a g \varphi = G_a \varphi$  – сила сцепления шины с дорогой.

При движении автомобиля на спуск с сочетанием поворота водитель, с целью предотвращения бокового скольжения колес, сохранения поперечной устойчивости и обеспечения безопасности движения, применяет торможение двигателем (рис. 2).

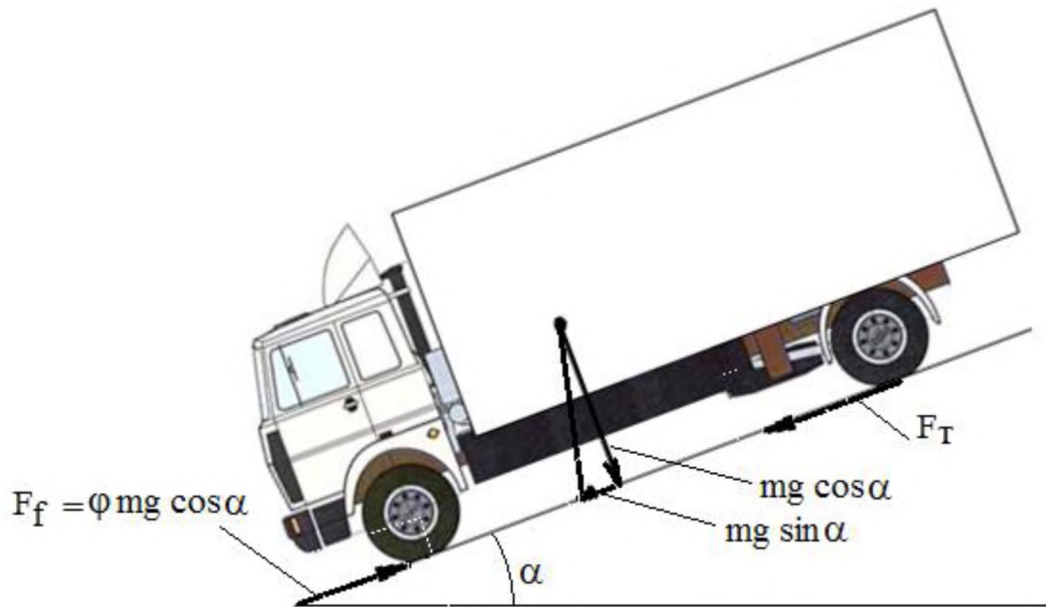


Рис.2 - Схема сил, возникающих при движении по кривой на спуске горной дороги с горизонтальной поверхностью:  $F_T = ma$  – движущая сила, сила тяги на ведущих колесах;  $F_f = \varphi mg \cos \alpha$  – сила сопротивления качению;  $mg \sin \alpha$  – составляющая силы тяжести автомобиля.

Как видно на рис. 2 силы способствующие движению автомобиля:  $F_T = ma$  и  $mg \sin \alpha$ . Сила, противодействующая движению,  $F_f = \varphi mg \cos \alpha$ .

Указанные силы взаимно уравновешиваются:

$$\varphi mg \cos \alpha = ma + mg \sin \alpha;$$

отсюда 
$$\varphi = \frac{ma + mg \sin \alpha}{mg \cos \alpha} = \frac{a}{g \cos \alpha} + \frac{\sin \alpha}{\cos \alpha}.$$

Подставляя  $v^2/2S$  вместо  $a$  и имея в виду, что  $\sin \alpha / \cos \alpha = tg \alpha$ , получим:

$$\varphi = \frac{v^2}{2Sg \cos \alpha} + tg \alpha; \quad \varphi - tg \alpha = \frac{v^2}{2Sg \cos \alpha}.$$

$\cos \alpha$  имеет значение, близкое к единице, и, следовательно, может не приниматься во внимание. Поэтому  $\varphi - tg \alpha \approx \frac{v^2}{2Sg}$ . Однако, на горизонтальной дороге  $\varphi = v^2/2Sg$ , и поэтому эффективный коэффициент сцепления для случая движения под углом на спуск  $\varphi_{\text{спуск}} \approx \varphi - tg \alpha$ . Он может быть использован в вычислениях так же, как и для случая движения по горизонтальной дороге. Подобно этому эффективный коэффициент сцепления для случая движения на подъеме  $\varphi_{\text{подъем}} \approx \varphi + tg \alpha$ . Доказательство такое же, как в случае движения на спуск. Таким образом, подставляя значение  $\varphi$  в формулу (3), находим критическую скорость движения грузового автомобиля:

а) на спуске опасных поворотов горных дорог без поперечного уклона

$$v_{кр} = \sqrt{(\varphi - tg \alpha) g R} \quad (4)$$

б) на подъеме опасных поворотах горных дорог без поперечного уклона

$$v_{кр} = \sqrt{(\varphi + tg \alpha) g R} \quad (5)$$

Теперь рассмотрим движение грузового автомобиля на поворотах горных дорог с поперечным уклоном (рис. 3).



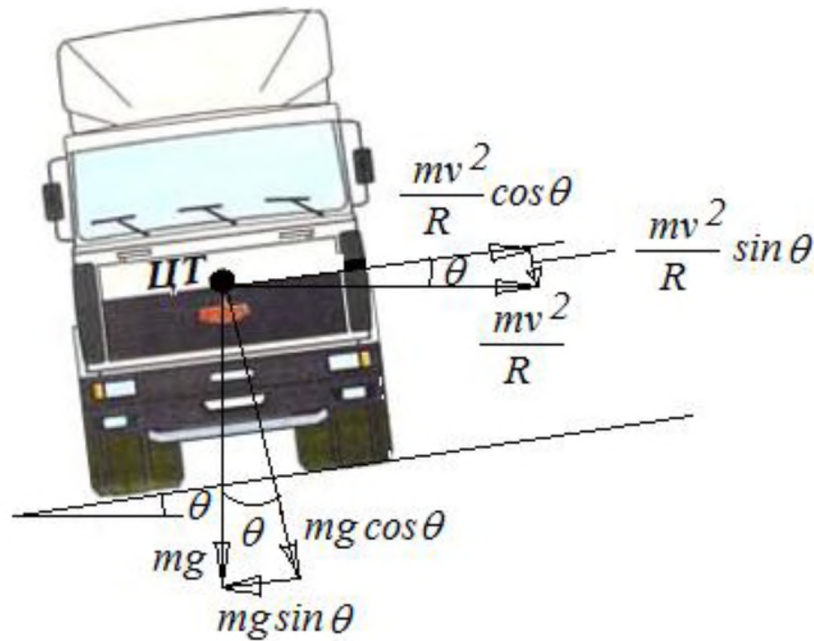


Рис.3 - Схема сил, возникающих при движении по кривой с поперечным уклоном горной дороги или виражом:  $\theta$  - угол поперечного уклона горной дороги.

Как видно из рис. 3,  $mg \cos \theta$  - составляющая силы тяжести, действующей на автомобиль, перпендикулярная к поверхности дороги;  $mg \sin \theta$  - составляющая силы тяжести, параллельная поверхности дороги;  $mv^2/R$  - центробежная сила, действующая на автомобиль;  $(mv^2/R) \cos \theta$  - составляющая центробежной силы тяжести, действующая на автомобиль параллельно поверхности дороги;  $(mv^2/R) \sin \theta$  - составляющая центробежной силы тяжести, действующая перпендикулярно к поверхности дороги.

Уравнивающие друг друга силы, действующие параллельно поверхности дороги:

$$\begin{aligned} \frac{mv^2}{R} \cos \theta - mg \sin \theta &= \varphi mg \cos \theta + \frac{\varphi m v^2}{R} \sin \theta; \\ \frac{mv^2}{R} \cos \theta - \frac{\varphi m v^2}{R} \sin \theta &= \varphi mg \cos \theta + mg \sin \theta; \\ \frac{mv^2}{R} (\cos \theta - \varphi \sin \theta) &= mg (\varphi \cos \theta + \sin \theta). \end{aligned}$$

Для упрощения обе части равенства разделим на  $\cos \theta$ :

$$\begin{aligned} \frac{mv^2}{R} \left( \frac{\cos \theta}{\cos \theta} - \frac{\varphi \sin \theta}{\cos \theta} \right) &= mg \left( \frac{\varphi \cos \theta}{\cos \theta} + \frac{\sin \theta}{\cos \theta} \right); \\ \frac{mv^2}{R} (1 - \varphi \operatorname{tg} \theta) &= mg (\varphi + \operatorname{tg} \theta). \end{aligned}$$

Решая относительно скорости движения получим

$$v^2 = \frac{mgR (\varphi + \operatorname{tg} \theta)}{m (1 - \varphi \operatorname{tg} \theta)};$$

тогда

$$v_{\text{кр}} = \sqrt{Rg \frac{\varphi + \operatorname{tg} \theta}{1 - \varphi \operatorname{tg} \theta}}. \quad (6)$$

Подставляя значения  $\varphi$  на спуске в формулу 6, находим критическую скорость движения грузового автомобиля на спуске опасных поворотов горных дорог с поперечным уклоном:

$$v_{\text{кр}} = \sqrt{Rg \frac{(\varphi - \operatorname{tg} \alpha) + \operatorname{tg} \theta}{1 - (\varphi - \operatorname{tg} \alpha) \operatorname{tg} \theta}}. \quad (7)$$

Аналогично, подставив значения  $\varphi$  на подъеме в формулу 6, находим критическую скорость движения грузового автомобиля на подъеме опасных поворотов горных дорог с поперечным уклоном:

$$v_{кр} = \sqrt{Rg \frac{(\varphi+tg\alpha) + tg\theta}{1-(\varphi+tg\alpha)tg\theta}} \quad (8)$$

Используя предложенные зависимости 4, 5, 7 и 8 для различных значений радиусов поворотов горных автомобильных дорог с продольным уклоном и поперечным уклоном или без уклона, можно определить критические скорости движения грузовых автомобилей по условиям их поперечной устойчивости.

В табл.1 и 2 в качестве примера приведены результаты расчетов определения критической скорости движения грузовых автомобилей на спуске и подъеме с продольным уклоном в  $10^0$  по условиям их поперечной устойчивости на опасных поворотах горной автомобильной дороги Бишкек-Туя-Ашуу-Суусамыр-Отмек-Талас для разных числовых значений радиусов кривых.

Таблица 1 - Результаты расчетов определения критической скорости движения колесных машин на спуске с продольным уклоном в  $10^0$  по условиям их поперечной устойчивости на опасных поворотах горной дороги Бишкек-Туя-Ашуу-Суусамыр-Отмек-Талас

без поперечного уклона			с поперечным уклоном									
$R, м$	$\varphi$	$v_{кр}, км/ч$	$\theta, ^\circ$	$v_{кр}, км/ч$	$\theta, ^\circ$	$v_{кр}, км/ч$	$\theta, ^\circ$	$v_{кр}, км/ч$	$\theta, ^\circ$	$v_{кр}, км/ч$	$\theta, ^\circ$	$v_{кр}, км/ч$
150	0,8	109	5	120	8	126	10	131	12	136	15	143
	0,6	90		101		107		111		115		122
	0,4	65		78		85		89		93		100
	0,2	21		46		56		62		67		75
125	0,8	100	5	109	8	115	10	119	12	124	15	130
	0,6	82		92		98		101		105		111
	0,4	60		71		77		81		85		91
	0,2	19		42		51		56		61		68
100	0,8	89	5	98	8	103	10	107	12	111	15	117
	0,6	73		82		87		91		94		100
	0,4	53		63		69		73		76		81
	0,2	17		38		46		51		55		61
80	0,8	80	5	87	8	92	10	96	12	99	15	104
	0,6	66		73		78		81		84		89
	0,4	48		57		62		65		68		73
	0,2	16		34		41		45		49		55
60	0,8	69	5	76	8	80	10	83	12	86	15	90
	0,6	57		64		68		70		73		77
	0,4	41		49		54		56		59		63
	0,2	13		29		35		39		43		47
50	0,8	63	5	69	8	73	10	76	12	78	15	82
	0,6	52		58		62		64		67		70
	0,4	38		45		49		51		54		58
	0,2	12		27		32		36		39		43
40	0,8	56	5	62	8	65	10	68	12	70	15	74
	0,6	46		52		55		57		60		63
	0,4	34		40		44		46		48		52
	0,2	11		24		29		32		35		39

30	0,8	49	5	54	8	56	10	59	12	61	15	64
	0,6	40		45		48		50		52		55
	0,4	29		35		38		40		42		45
	0,2	10		21		25		28		30		33

Примечание:  $R$  - радиус поворота,  $\varphi$  – коэффициент сцепления,  $v_{кр}$  -критическая скорость движения грузового автомобиля,  $\theta$  – поперечный уклон дороги.

Таблица 2 - Результаты расчетов определения критической скорости движения колесных машин на подъеме с продольным уклоном в  $10^0$  по условиям их поперечной устойчивости (боковое скольжение) на опасных поворотах горной дороги Бишкек-Туя-Ашуу-Суусамыр-Отмек-Талас

без поперечного уклона			с поперечным уклоном									
$R, м$	$\varphi$	$v_{кр}, км/ч$	$\theta, ^\circ$	$v_{кр}, км/ч$	$\theta, ^\circ$	$v_{кр}, км/ч$	$\theta, ^\circ$	$v_{кр}, км/ч$	$\theta, ^\circ$	$v_{кр}, км/ч$	$\theta, ^\circ$	$v_{кр}, км/ч$
150	0,8	136	5	142	8	150	10	155	12	161	15	170
	0,6	122		125		132		137		142		149
	0,4	105		107		113		118		122		129
	0,2	85		86		92		96		101		107
125	0,8	124	5	130	8	137	10	141	12	147	15	155
	0,6	111		114		121		125		129		136
	0,4	96		98		103		107		111		117
	0,2	77		78		84		88		92		98
100	0,8	111	5	116	8	122	10	127	12	131	15	139
	0,6	99		102		108		112		116		122
	0,4	86		87		93		96		100		105
	0,2	69		70		75		79		82		87
80	0,8	100	5	104	8	109	10	113	12	117	15	124
	0,6	89		92		97		100		103		109
	0,4	77		78		83		86		89		94
	0,2	62		63		67		70		74		78
60	0,8	86	5	90	8	95	10	98	12	102	15	107
	0,6	77		79		84		87		90		94
	0,4	66		68		72		74		77		81
	0,2	54		54		58		61		64		68
50	0,8	79	5	82	8	86	10	89	12	93	15	98
	0,6	70		72		76		79		82		86
	0,4	60		62		65		68		70		74
	0,2	49		49		53		56		58		62
40	0,8	70	5	73	8	77	10	80	12	83	15	88
	0,6	63		65		68		71		73		77
	0,4	54		55		59		61		63		66
	0,2	44		44		48		50		52		55
30	0,8	61	5	63	8	67	10	69	12	72	15	76
	0,6	54		56		59		61		63		67
	0,4	47		48		51		53		55		58
	0,2	38		38		41		43		45		48

Примечание:  $R$  - радиус поворота,  $\varphi$  – коэффициент сцепления,  $v_{кр}$  -критическая скорость движения грузового автомобиля,  $\theta$  – поперечный уклон дороги.

**Выводы.** По результатам расчета при  $\alpha = 10^0$ ,  $\theta = 0^0$  и  $R=30$  м ограничение скорости движения летом составляет 49 км/ч, а зимой при гололедице – 10 км/ч, т. е. зимой почти в 5 раз снижается безопасная скорость движения грузового автомобиля на повороте. При  $\alpha = 10^0$ ,  $\theta = 0^0$ , и для различных значений радиусов поворотов (от  $R=30$  м до  $R=150$  м) ограничение скорости движения зимой при гололедице составляет соответственно от 10 до 21 км/ч. Таким образом, можно сделать вывод о том, что при движении грузовых автомобилей на опасных поворотах с продольным уклоном в  $10^0$  скорость движения при  $\varphi = 0,2$  снижается до 5 раз в сравнении с  $\varphi = 0,8$ . При  $\alpha = 10^0$ ,  $\theta = 5^0$  и  $R=30$  м ограничение скорости движения летом составляет 54 км/ч, а зимой при гололедице – 21 км/ч, т. е. зимой почти в 2 раза снижается скорость движения грузового автомобиля на повороте.

Данные табл. 1 и 2 можно на практике успешно применять, с целью обеспечения безопасности дорожного движения на опасных поворотах с малым числовым значением, с установкой дорожных знаков ограничения, соответствующей скорости движения. Например, на опасных поворотах серпантинных участках горных дорог с радиусом кривизны 30 м летом, когда  $\varphi = 0,8$ , нужно устанавливать дорожный знак ограничения скорости движения грузовых автомобилей с числовым значением 50 км/ч, а зимой, когда  $\varphi = 0,2$ , требуется устанавливать дорожный знак ограничения скорости движения грузовых автомобилей с числовым значением 20 км/ч, т. е. почти в два раза меньше придется действий по ограничению скорости движения колесных машин.

Сравнительный анализ результатов расчета показал, что при движении грузового автомобиля на подъем на опасных поворотах горных дорог значение ограничения критической скорости движения повышается по сравнению со значением на спуске. Это объясняется тем, что вектор силы тяжести автомобиля совпадает с вектором силы сопротивления движению.

#### Список литературы

1. Бабков В.Ф. Дорожные условия и безопасность движения [Текст]: В.Ф. Бабков. - М., Транспорт, 1982. - 288 с.
2. Говорущенко Н.Я. Основы управления автомобильным транспортом [Текст] / Н.Я. Говорущенко. - Харьков, Вища школа, 1978. - 224 с.
3. Иларионов В.А. Эксплуатационные свойства автомобиля [Текст] / В.А. Иларионов. - М., «Машиностроение», 1965. - 280 с.
4. Гришкевич А.И. Автомобили. Теория. Мн.: Выш-я школа, 1986. - 208 с.
5. Тарасик В.П. Теория движения автомобиля. СПб.: БХВ-Петербург, 2006. - 478 с.
6. Литвинов А.С. Автомобиль. Теория эксплуатационных свойств. - М.: Машиностроение, 1989. - 240 с.
7. Г.Б. Безбородова, В.Г.Галушко. Моделирование движения автомобиля. Киев: Вища школа, 1978, 168с.
8. Вонг. Дж. Теория наземных транспортных средств. Перев. С английского. М., Машиностроение, 1982. - 282 с.