
УДК 656.11.05

Н. А. Коваленко, В. П. Лобах

МЕТОДИКА РАСЧЕТА РАССТОЯНИЙ ДЛЯ УСТАНОВКИ ПОВТОРНЫХ ЗНАКОВ ПО ОГРАНИЧЕНИЮ СКОРОСТИ ДВИЖЕНИЯ АВТОМОБИЛЕЙ

UDC 656.11.05

N. A. Kovalenko, V. P. Lobakh

TECHNIQUE FOR CALCULATING THE DISTANCE IN PLACING REPEATED ROAD SIGNS LIMITING VEHICLE SPEED

Аннотация

Рассмотрен вопрос рациональной установки знаков ограничения скорости автомобилей на магистралях в целях лучшего использования накопленной кинетической энергии. Предложена методика, позволяющая определить расстояния между знаками, ступенчато понижающими скорость транспортных средств, для конкретных дорожных условий. При выполнении рекомендаций почти не нужно будет осуществлять торможение автомобиля, т. к. почти полностью будет использована накопленная в движении кинетическая энергия.

Ключевые слова:

автомобили, улично-дорожная сеть, дорожные знаки, скорость движения, кинетическая энергия.

Abstract

The paper focuses on the rational placement of speed limiting signs on highways in order to use accumulated kinetic energy better. The technique is presented, which allows determining the distance between the signs, in order to stepwise reduce the speed of vehicles under specific road conditions. If its recommendations are implemented, almost entire kinetic energy accumulated during motion will be used, and there will be no need to apply car brakes.

Key words:

vehicles, network of streets, road signs, speed, kinetic energy.

Ускоренная автомобилизация РБ сопровождается ростом экономических, экологических и социальных затрат при осуществлении дорожного движения. Кроме того, растут потери от увеличения численности дорожно-транспортных происшествий (ДТП). Эти потери во многом объясняются несоизмеримостью темпов роста интенсивности дорожного движения и развития улично-дорожной сети (УДС), серьезным отставанием существующих методов и технологий организации дорожного движения от современных требований.

В целом снижается пропускная спо-

собность УДС и увеличивается численности ДТП. Так, в 2014 г. в Республике Беларусь было совершено 3144 ДТП, в которых погибли 640 человек и 826 получили травмы. За первые 6 месяцев 2015 г. эти цифры составили соответственно 1682, 275 и 1793.

Если потери от совершения ДТП можно хотя бы приблизительно оценить, то потери от несоответствия пропускной способности УДС и фактической интенсивности транспортных потоков определить достаточно сложно, поскольку для этого необходимо учитывать потери от перерасхода топлива транспортными

средствами, от увеличения выбросов вредных веществ с отработавшими газами, от нерационального использования рабочего времени водителей, от снижения производительности транспортных средств и др.

Полноценное решение проблемы эффективного использования автомобилей возможно лишь при развитии и модернизации УДС, однако это требует значительных финансовых, материальных и трудовых ресурсов и времени. Поэтому для роста пропускной способности уже существующей улично-дорожной сети необходимо повышать эффективность применения стационарных знаков дорожного движения так, чтобы их количество и номенклатура удовлетворяли требованиям безопасности дорожного движения и одновременно соответствовали сложившейся интенсивности движения транспортных средств в конкретных дорожных условиях.

В настоящее время для каждой конкретной улицы или дороги виды знаков, их количество и место установки определяются проектом организации дорожного движения (ПОДД) или дислокацией дорожных знаков (ДДЗ). Они разрабатываются на основе стандартов Республики Беларусь СТБ 1140-99 и СТБ 1300-2007 [1, 2]. Анализ их содержания показал, что для большинства предупреждающих, запрещающих и предписывающих знаков, знаков приоритета, информационно-указательных, знаков сервиса и знаков дополнительной информации рекомендации по установке достаточно понятны и не требуют дополнительного обоснования или применения специальных методик. Однако для части запрещающих знаков (3.2 – «Движение запрещено»; 3.3 – «Движение механических транспортных средств запрещено»; 3.4...3.9 – «Движение грузовых автомобилей, мотоциклов, тракторов, с прицепом, гужевых транспортных средств,

велосипедов запрещено» соответственно; 3.22 – «Обгон грузовым автомобилем запрещен»; 3.27...3.30 – «Запрещена остановка, стоянка, стоянка по нечетным числам месяца, стоянка по четным числам месяца» соответственно) полностью отсутствуют рекомендации по их установке. Рекомендации же по установке знака 3.24.1 – «Ограничение максимальной скорости» не конкретны и допускают их свободное толкование. Однако именно знаки определяют реальную пропускную способность УДС. Так, в СТБ 1300-2007 (п. 5.4.35) указывается, что если вводимое на участке дороги ограничение максимальной скорости более чем на 20 км/ч отличается от допускаемой скорости движения на предыдущем участке, то следует применять ступенчатое ограничение скорости с шагом не более 20 км/ч путем последовательной установки знаков 3.24.1 – «Ограничение максимальной скорости», удаленных друг от друга на расстояние 100...150 м вне населенных пунктов и 50...100 м в населенных пунктах.

Зачастую такое понижение скорости осуществляют на магистралях перед пешеходными переходами (рис. 1), когда автомобиль движется на скорости выше 100 км/ч (максимально допустимая скорость на магистрали – 120 км/ч). Скорость понижается дважды: сначала до 100 км/ч, перед зоной пешеходного перехода – до 80 км/ч. Для этого в соответствии с СТБ 1300-2007 устанавливаются знаки 3.24.1 на расстоянии 150 м. Практика показывает: чтобы уложиться в регламентированный скоростной режим, водителям необходимо использовать служебное торможение автомобиля рабочей тормозной системой, впустую растрачивая накопленную автомобилем кинетическую энергию, на получение которой израсходовано топливо и которой хватило бы на длительное движение автомобиля накатом (рис. 2).



Рис. 1. Пешеходный переход на автомагистрали

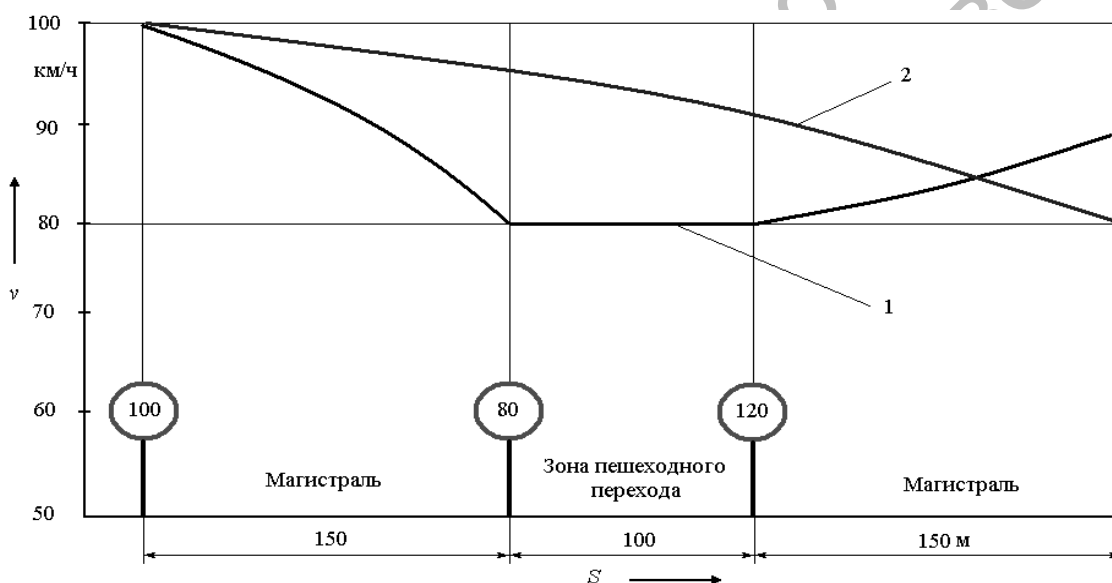


Рис. 2. Графики скорости движения автомобиля с торможением (1) и накатом (2)

С целью улучшения режима движения авторами предлагается методика определения рационального расстояния между знаками, понижающими скорость транспортных средств. Сущность ее состоит в определении пути наката транспортного средства с начальной регламентированной скорости движения v_1 до регламентированной скорости v_2 на участке пешеходного перехода и в рациональной расстановке знаков 3.24.1 согласно усредненным значениям для различных типов транспортных средств. При этом почти полностью будет ис-

пользована накопленная в движении кинетическая энергия и не нужно будет применять торможение.

Первоначально определяется снижение кинетической энергии автотранспортного средства при движении накатом:

$$\Delta K = K_1 - K_2 = \frac{m \cdot v_1^2}{2} \delta - \frac{m \cdot v_2^2}{2} \delta = \frac{m}{2} \delta (v_1^2 - v_2^2), \quad (1)$$

где K_1 – кинетическая энергия автомобиля в начале участка торможения, Дж; K_2 – кинетическая энергия автомобиля в конце участка торможения, Дж; m – масса автомобиля, кг; v_1 – начальная скорость движения, м/с; v_2 – скорость автотранспортного средства в конце участка, м/с; δ – коэффициент учета вращающихся масс автомобиля, $\delta = 1,03 \dots 1,05$.

Кинетическая энергия тратится на преодоление сил сопротивления воздуха, качения и уклона. Работа этих сил

$$A_c = P_c \cdot S = \Delta K, \quad (2)$$

где P_c – силы сопротивления движению, Н; S – путь, на котором совершается работа сил, м.

Сумма сил сопротивления качению и уклону при движении автомобиля рассчитывается как

$$P_{cкy} = m \cdot g \cdot f \cdot \cos\alpha \pm m \cdot g \cdot \sin\alpha, \quad (3)$$

где g – ускорение свободного падения, м/с²; f – коэффициент сопротивления качению (для асфальтобетонного покрытия принимается от 0,014 до 0,018); α – угол уклона дороги, град.

Сила сопротивления воздуха

$$P_{св} = k_g \cdot F \cdot v_{cp}^2, \quad (4)$$

где k_g – коэффициент сопротивления воздуха (принимается из диапазонов 0,2...0,35; 0,6...0,7; 0,24...0,4 соответственно для легковых автомобилей, грузовых и автобусов), Н·с²/м³; F – площадь лобового сопротивления автомобиля (принимается 1,6...2,9 для легковых автомобилей, 3,0...5,0 для грузовых, 4,5...6,5 для автобусов; для конкретного автомобиля – как произведение его габаритной ширины на габаритную высоту), м²; v_{cp} – средняя скорость на участке движения накатом, м/с.

С достаточной степенью точности для анализируемого диапазона скоростей v_{cp} можно рассчитать по формуле

$$v_{cp} = \frac{v_1 + v_2}{2}. \quad (5)$$

Тогда путь, который должен пройти автомобиль накатом при снижении скорости его движения от v_1 до v_2 , определится как

$$S = \frac{\Delta K}{P_c} = \frac{\Delta K}{P_{cкy} + P_{св}}. \quad (6)$$

Значения пути наката со скорости 100 до 80 км/ч для легковых автомобилей различной массы и уклонов дороги от –1 до 4 град представлены в табл. 1. Расчеты выполнены с использованием приложения Excel.

На рис. 3...5 представлены графики расчетных путей наката для наиболее характерных полных масс легковых, грузовых автомобилей и автобусов и для уклонов дороги от 0 до 4 град. Как видно на графиках, только на положительных уклонах дороги более 3 град, большинство легких транспортных средств по накату соответствует нормативам СТБ 1300-2007, а во всех остальных случаях величина пути наката гораздо больше 150 м и транспортным средствам необходимо применять служебное торможение. При отрицательных уклонах величина пути наката составляет от 500 до 1700 м, в результате чего водителям приходится осуществлять экстренное торможение. Этого для большинства транспортных средств можно было бы избежать, если понижающие скорость знаки устанавливать на расстоянии 300 м, т. е. так же, как и предупреждающие знаки при их установке вне населенных пунктов.

Табл. 1. Расчетный путь движения накатом легковых автомобилей в диапазоне скоростей от 100 до 80 км/ч ($k_g = 0,275 \text{ Н} \cdot \text{с}^2/\text{м}^3$, $F = 2,2 \text{ м}^2$, $f = 0,018$)

Масса автомобиля, кг	Уклон, град					
	-1	0	1	2	3	4
1000	376,6	260,3	198,9	160,9	135,2	116,5
1200	450,7	293,7	217,8	173,1	143,6	122,8
1400	524,4	323,3	233,7	183,0	150,4	127,7
1600	597,6	349,7	247,2	191,2	155,9	131,6
1800	670,5	373,4	258,8	198,0	160,4	134,8
2000	742,9	394,9	268,9	203,9	164,2	137,5
2200	815,0	414,4	277,8	209,0	167,5	139,8
2400	886,6	432,1	285,7	213,4	170,4	141,8
2600	957,9	448,4	292,7	217,3	172,8	143,5

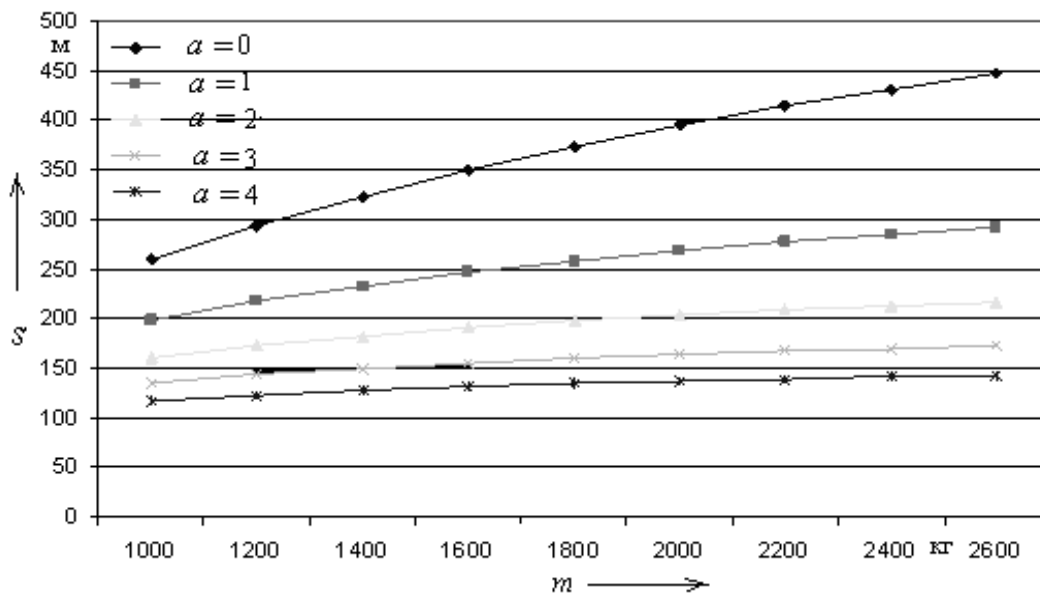


Рис. 3. График расчетного пути движения накатом легковых автомобилей в диапазоне скоростей от 100 до 80 км/ч

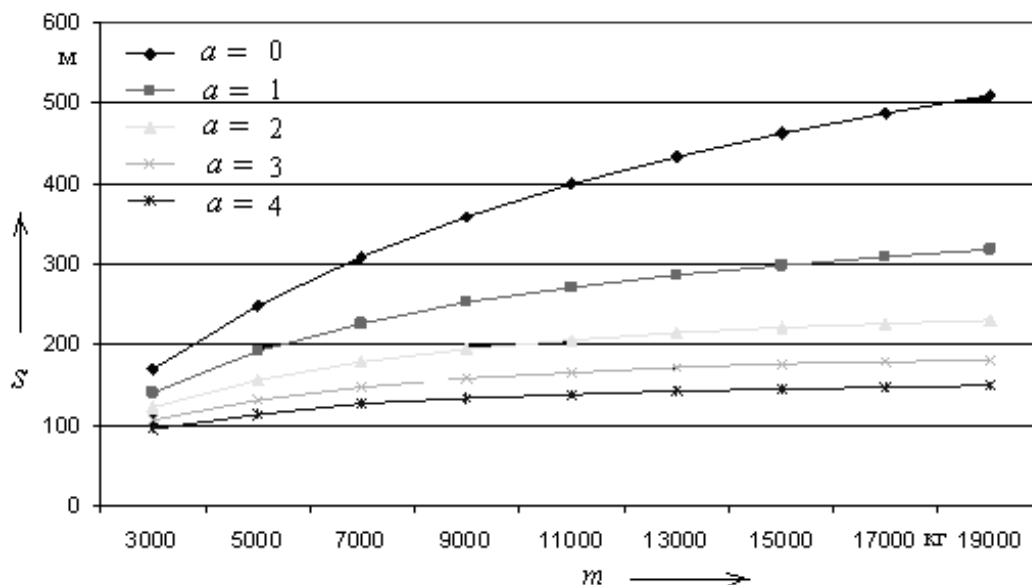


Рис. 4. График расчетного пути движения накатом грузовых автомобилей в диапазоне скоростей от 100 до 80 км/ч ($k_0 = 0,65 \text{ Н}\cdot\text{с}^2/\text{м}^3$; $F = 5 \text{ м}^2$, $f = 0,018$)

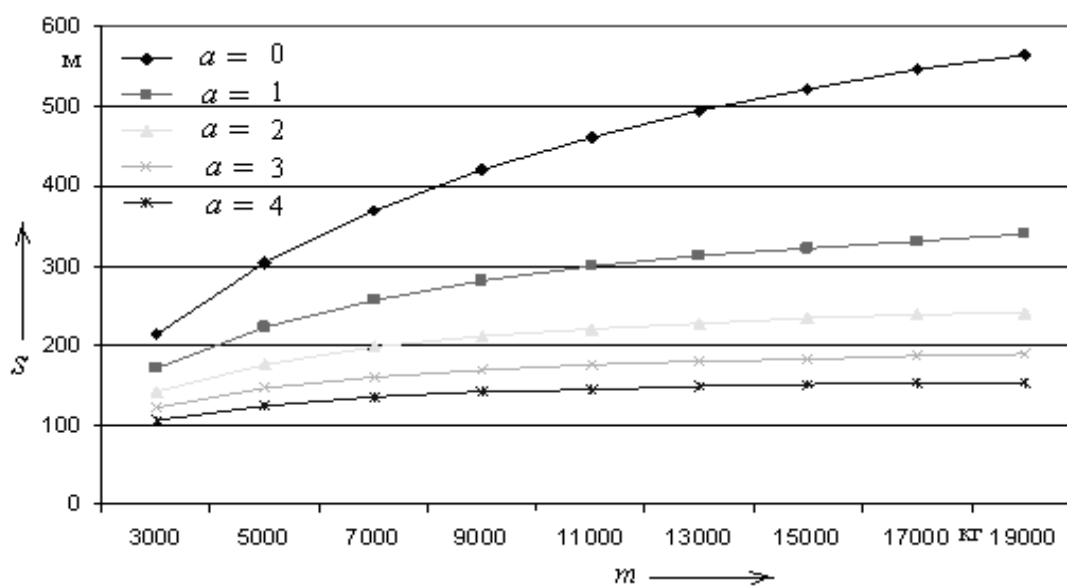


Рис. 5. График расчетного пути движения накатом автобусов в диапазоне скоростей от 100 до 80 км/ч ($k_0 = 0,4 \text{ Н}\cdot\text{с}^2/\text{м}^3$; $F = 6 \text{ м}^2$, $f = 0,018$)

Помимо того, в СТБ 1300-2007 отмечается, что ступенчатое ограничение скорости не должно применяться перед населенными пунктами, обозначенными знаками 5.22.1 и 5.22.2 (рис. 6), если видимость указанных знаков составляет не менее 150 м.

Расчеты, проведенные по предложенной методике, показывают (табл. 2, рис. 7...9), что регламентируемый (150 м) путь наката в диапазоне скоростей 90...60 км/ч характерен только для легких (массой до 1400 кг) автомобилей и только в случае значительных положительных уклонов дороги.



Рис. 6. Дорожные знаки «Начало населенного пункта»

Табл. 2. Расчетный путь движения накатом легковых автомобилей в диапазоне скоростей от 90 до 60 км/ч ($k_6 = 0,275 \text{ Н} \cdot \text{с}^2/\text{м}^3$, $F = 2,2 \text{ м}^2$, $f = 0,018$)

Масса автомобиля, кг	Уклон, град					
	-1	0	1	2	3	4
1000	172,4	148,1	129,9	115,6	104,2	94,9
1200	206,7	172,8	148,4	130,1	115,8	104,4
1400	240,9	196,1	165,3	142,9	125,8	112,5
1600	275,0	218,1	180,7	154,3	134,6	119,4
1800	309,1	239,0	194,8	164,4	142,3	125,4
2000	343,1	258,8	207,8	173,6	149,1	130,6
2200	377,0	277,7	219,8	181,9	155,1	135,3
2400	410,9	295,6	230,9	189,4	160,6	139,4
2600	444,7	312,7	241,1	196,3	165,5	143,1

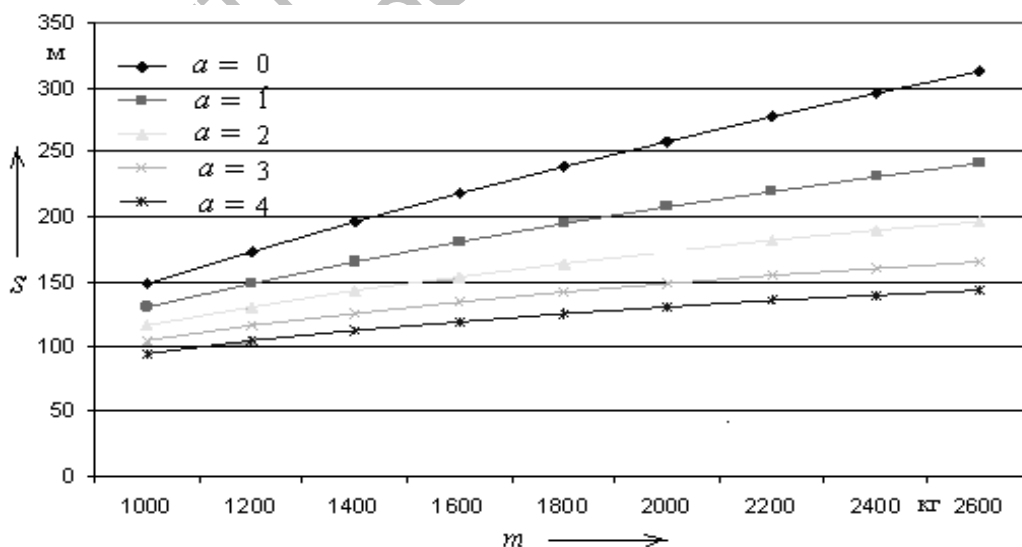


Рис. 7. График расчетного пути движения накатом легковых автомобилей в диапазоне скоростей от 90 до 60 км/ч

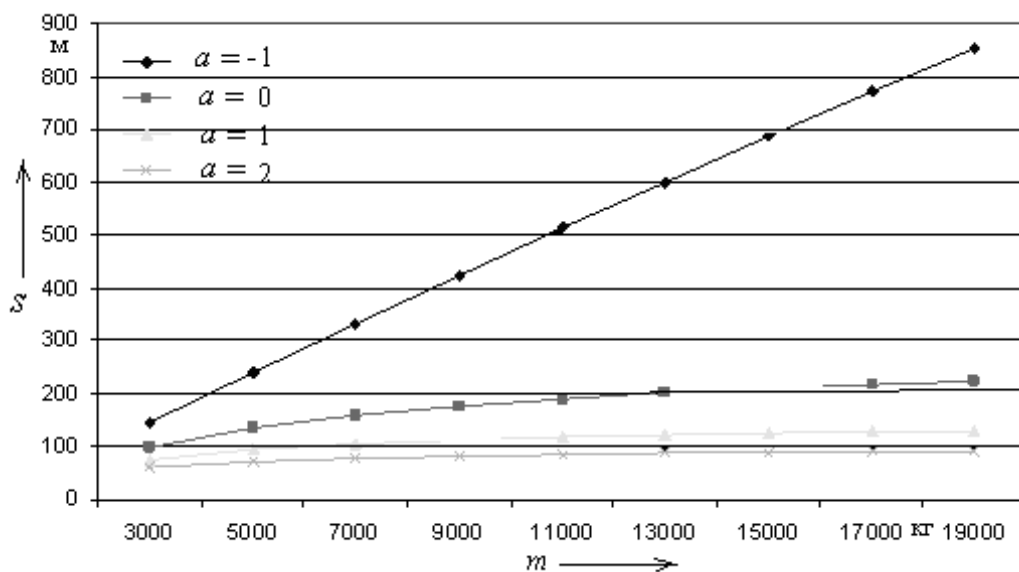


Рис. 8. График расчетного пути движения накатом грузовых автомобилей в диапазоне скоростей от 70 до 60 км/ч ($k_e = 0,65 \text{ Н}\cdot\text{с}^2/\text{м}^3$; $F = 5 \text{ м}^2$, $f = 0,018$)

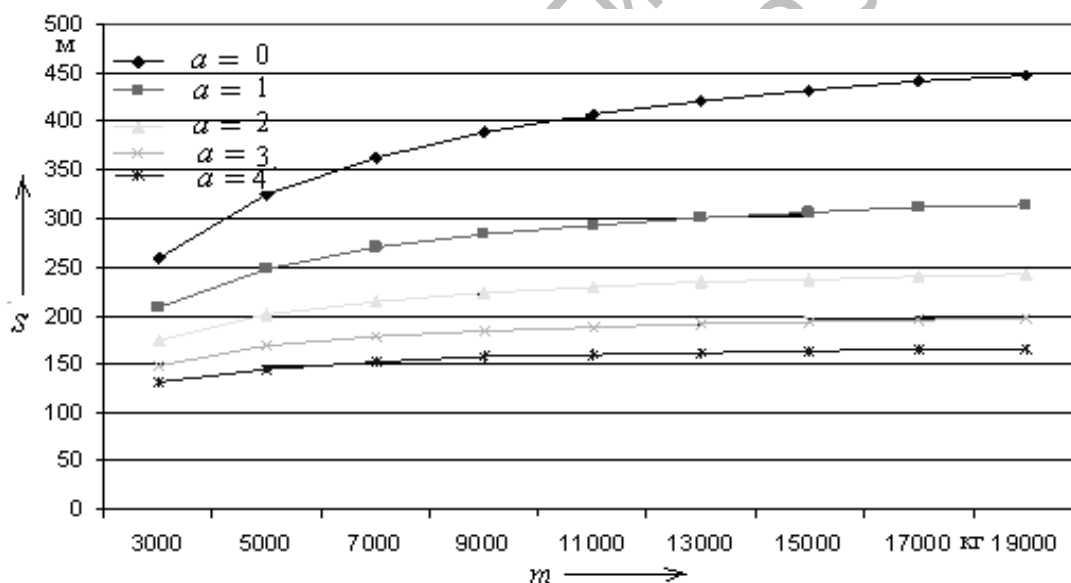


Рис. 9. График расчетного пути движения накатом автобусов в диапазоне скоростей от 90 до 60 км/ч ($k_e = 0,4 \text{ Н}\cdot\text{с}^2/\text{м}^3$; $F = 6 \text{ м}^2$, $f = 0,018$)

Почти все автобусы при любых уклонах дороги имеют пути наката в диапазоне скоростей 90...60 км/ч, значительно превышающие регламентированный. Только путь наката грузовых автомобилей соответствует нормативу (150 м), т. к. их скорость понижается от

70 (ограничение скорости движения для грузовых автомобилей на междугородних трассах) до 60 км/ч. При их движении на автомагистралях пути наката (в диапазоне скоростей от 80 до 60 км/ч) значительно превышают расстояние 150 м. Следует также учитывать, что ви-

димось знаков 5.22.1 и 5.22.2 может быть гораздо меньше 150 м в плохих погодных или ночных условиях и водителям обязательно приходится использовать служебное торможение, чтобы не нарушать правила дорожного движения. Авторами рекомендуется в таких случаях устанавливать знаки на расстоянии 300 м.

Для экспериментальной оценки предлагаемой методики были проведе-

ны эксплуатационные испытания по определению пути наката автомобилей «Фольксваген Пассат» и «Рено Скеник». Его величина определялась в диапазонах скоростей от 100 до 80 км/ч и от 90 до 60 км/ч. Замеры проводились на различных участках магистрали при движении автомобиля в прямом и обратном направлениях. Средние значения пути наката приведены в табл. 3.

Табл. 3. Средние значения пути наката

Модель автомобиля	Диапазон скоростей, км/ч	
	100...80	90...60
«Фольксваген Пассат»	300	550
«Рено Скеник»	350	500

По этим значениям была проведена оценка адекватности предлагаемой методики, основанная на сравнении расчетных значений пути наката и полученных в результате эксплуатационных испытаний по критерию Стьюдента

$$t_p = \frac{\varepsilon \sqrt{N}}{\sqrt{2D_r}}, \quad (7)$$

где ε – величина отклонений средних значений пути наката, определенных по предлагаемой методике и в результате эксплуатационных испытаний; N – общее количество эксплуатационных заездов (или расчетов по методике), $N = 4$; D_r – дисперсия ошибок.

Разработанная методика (модель) будет адекватна, если выполняется условие

$$t_p \leq t(\alpha; k_2), \quad (8)$$

где $t(\alpha; k_2)$ – табличное значение критерия Стьюдента [3], принимается в зависимости от уровня значимости α (принималась 5-процентная точность, т. е. $\alpha = 0,05$) и числа степеней свободы k_2 ($k_2 = 2(N - 1)$).

Величина отклонений средних значений пути наката

$$\varepsilon = \overline{S_{\text{э}}} - \overline{S_T}, \quad (9)$$

где $\overline{S_{\text{э}}}$, $\overline{S_T}$ – средние значения эксплуатационного и теоретического пути наката соответственно, м.

Дисперсия полученной ошибки ε определяется из выражения

$$D_{\varepsilon} = \frac{D_{\text{э}} + D_T}{2}, \quad (10)$$

где $D_{\text{э}}$, D_T – оценки дисперсий пути наката для эксплуатационных испытаний и теоретической методики соответственно,

$$D_{\text{э}} = \frac{1}{N-1} \cdot \sum_{k=1}^N (S_{\text{эк}} - \overline{S_{\text{э}}})^2; \quad (11)$$

$$D_T = \frac{1}{N-1} \cdot \sum_{k=1}^N (S_{T_k} - \overline{S_T})^2, \quad (12)$$

где $S_{\text{эк}}$, S_{T_k} – путь наката для k -го эксплуатационного испытания и теоретического расчета соответственно, м.

Теоретические значения пути наката S_{T_k} определялись по методике для участвующих в испытаниях автомобилей в случаях, когда дорожный уклон составляет $-1, 0, 1$ и 2 град. Рассчитан-

ные по (7) значения критерия Стьюдента для диапазона скоростей 100...80 км/ч равны 0,744 для «Фольксваген Пассат» и 1,293 для «Рено Скеник», для диапазона скоростей от 90 до 60 км/ч – соответственно 1,225 и 0,499. Поскольку табличное значение критерия Стьюдента $t(0,05;6) = 2,447$ [3], то можно утверждать, что методика адекватно описы-

вает результаты эксплуатационных испытаний.

Предлагаемые авторами дистанции установки понижающих скорость движения знаков (рис. 10) позволяют снизить нагрузку на тормозные механизмы (а значит снизить их износ), а также уменьшить расход топлива.

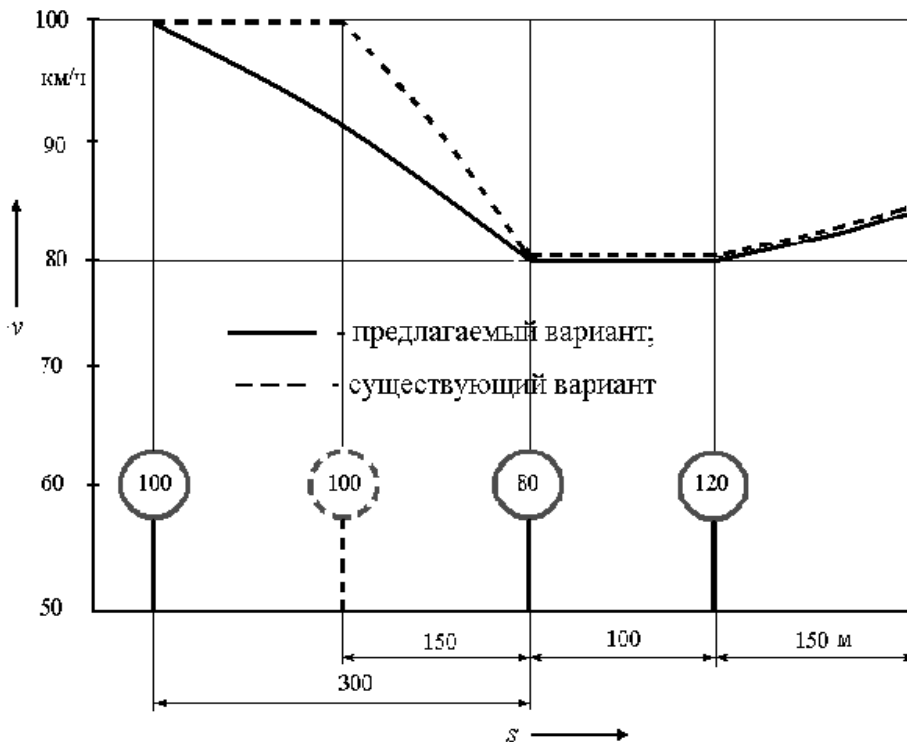


Рис. 10. Графики движения автомобилей при существующей и рекомендуемой установках знаков ограничения скорости

Так, работа трения в тормозных механизмах за один цикл торможения на участке длиной 150 м, например, для автомобиля массой 19000 кг, уменьшится на 5,45 кДж. Расход топлива в этом случае уменьшится минимум на 20 г за счет работы двигателя в режиме холостого хода. В целом, для автодороги первой категории с интенсивностью движения более 7000 автомобилей в сутки перестановка только одного знака на 150 м даст возможность сэкономить более 140 кг топлива.

Выводы

1. Разработана методика определения рационального расстояния между дорожными знаками, понижающими скорость транспортных средств на автомагистралях, которая позволяет определять дистанцию между ними с учетом особенностей конкретного дорожного участка, на котором они устанавливаются.

2. Определено, что расстояние между знаками, понижающими скорость движения, должно быть не менее 300 м, т. е. такое же, как и для преду-

преждающих знаков, устанавливаемых вне населенных пунктов. В этом случае экономия топлива составит не менее

140 кг в сутки только для одного такого участка дороги.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. **СТБ 1140-99.** Знаки дорожные. Общие технические условия. – Минск : Изд-во Госстандарта РБ, 2009. – 110 с.
2. **СТБ 1300-2007.** Технические средства организации дорожного движения. Правила применения. – Минск : Изд-во Госстандарта РБ, 2006. – 122 с.
3. **Коваленко, Н. А.** Научные исследования и решение инженерных задач в сфере автомобильного транспорта : учеб. пособие / Н. А. Коваленко. – Минск : Новое знание ; М.: ИНФРА-М, 2011. – 298 с.

Статья сдана в редакцию 26 ноября 2015 года

Николай Алексеевич Коваленко, канд. техн. наук, доц., Белорусско-Российский университет. Тел.: +375-447-72-27-57.

Василий Павлович Лобах, канд. техн. наук, доц., Белорусско-Российский университет. Тел.: +375-298-42-25-26.

Nikolai Alekseyevich Kovalenko, PhD (Engineering), Associate Prof., Belarusian-Russian University. Phone: +375-447-72-27-57.

Vasily Pavlovich Lobakh, PhD (Engineering), Associate Prof., Belarusian-Russian University. Phone: +375-298-42-25-26.