

УДК 625.7.032.32

Д.И.Кияшко, В.Я.Савенко, В.В.Филиппов

Национальный транспортный университет Украины

Харьковский национальный автомобильно-дорожный университет

НОРМИРОВАНИЕ ДОПУСТИМЫХ ЗНАЧЕНИЙ ПОКАЗАТЕЛЕЙ ПРОДОЛЬНОЙ РОВНОСТИ ДОРОЖНЫХ ПОКРЫТИЙ

В работе проведено исследование по совершенствованию нормирования предельно допустимых значений показателей продольной ровности дорожных покрытий. Предложена математическая модель взаимодействия "дорога-автомобиль-водитель" используя критерий обеспечения предельного уровня безопасности и комфорта движения водителя и пассажиров.

Обеспечение требований, направленных на достижение лучшего комфорта, управляемости и безопасности автомобилей при повышении скоростей дорожного движения постоянно побуждают конструкторов транспортных средств разрабатывать современные системы подвесок. При этом повышение комфорта и безопасности на дорогах, а так же поддержание требуемых значений транспортно-эксплуатационных показателей автомобильных дорог в частности ровности дорожных покрытий является основной задачей дорожной службы.

Учитывая выше сказанное, дорожники и автомобилисты должны обеспечивать безопасное и комфортное дорожное движение, тем не менее, происходит некая несогласованность, связанная с учетом ровности дорожных покрытий. Автомобилисты при проектном расчете подвески автомобиля, ровность дорожного покрытия рассматривают либо в виде детерминистической функции (приводя к волнообразному гармоническому профилю или к единичной неровности), либо статистической (по конкретной реализации профиля или по его статистической характеристике) [1]. При этом автомобилисты полагают, что в реальных дорожных условиях разработанная подвеска (после проектного расчета) с любой системой и конструктивной особенностью будет подавлять вибрацию и обеспечивать безопасное и комфортное дорожное движение. Дорожники рассматривают ровность дорожного покрытия в основном через разработанный и научно-обоснованный комплекс показателей (разность высотных отметок при продольном нивелировании, просветы под рейкой, интегральные показатели колебаний подвески и др.). Поэтому необходимо обоюдное согласование и обоснование нормативного значения ровности дорожных покрытий, учитывая реальный подход к работе всей системы подвески во время движения транспортного средства, в зависимости от типа и состояния покрытия, скорости дорожного движения, учитывая техническую категорию дорог.

Цель работы заключается в анализе нормирования показателей продольной ровности дорожных покрытий, а также разработке математической модели, взаимодействия "дорога-автомобиль-водитель", используя критерий обеспечения предельного уровня безопасности движения и комфорта движения для водителя и пассажиров.

Если рассматривать профиль дорожного покрытия как детерминистическую функцию (приводя её к волнообразному гармоническому профилю), используя соответствующую теорию (по диапазону длин волн неровностей, которые влияют на колебание, вибрацию и шум) можно классифицировать наиболее распространенный комплекс показателей для оценки ровности дорожных покрытий. Для более наглядного понимания и анализа используя формулу (1) построено диаграмму длин волн неровностей, которые влияют на качественное состояние поверхности покрытия (рис.1).

$$\theta = \frac{\omega}{V} = \frac{2\pi\nu}{V} = \frac{2\pi}{S}, \quad (1)$$

где θ – путевая частота дороги, м⁻¹;

ν – частота колебаний, Гц;

ω – циклическая частота колебаний, Гц;

V – скорость движения автомобиля, м/с;

S – длина волны неровности, м.

Условно диаграмма разделена на три поля в зависимости от характеристики дорожных неровностей. На нижней части каждого поля, используя формулу (1) построены кривые зависимости длины волны S , скорости движения автомобиля V и частоты колебаний ν . На верхней и нижней гранях диаграммы расположена длина волны неровностей в логарифмическом масштабе. В верхней части приведена характеристика колебаний, которые нарушают комфорт движения по дороге, а также показаны диапазоны длин волн неровностей, которые учитываются разными показателями оценки ровности дорожных покрытий.

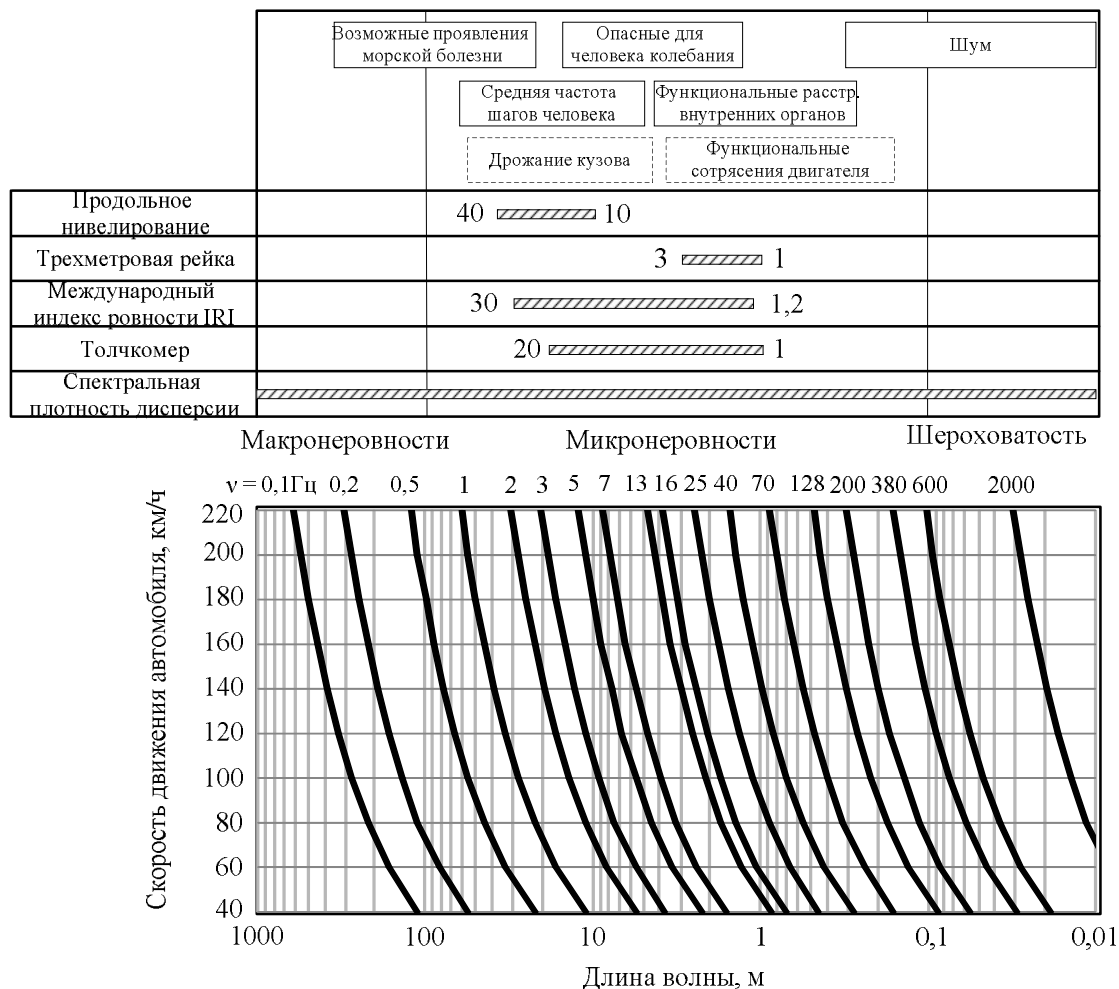


Рис. 1. Диаграмма длин волн неровностей, которые влияют на качественное состояние поверхности дорожного покрытия [2]

На (рис. 1) видно, что различные показатели оценки ровности дорожных покрытий позволяют контролировать ровность только в узком диапазоне длин волн. При этом неровности одной длины волны при разных скоростях дорожного движения вызывают различные частоты колебаний, которые порождают разнообразные ощущения у водителя и пассажиров, а также влияют на условия работы конструктивных элементов автомобиля. Поскольку показатели оценки ровности дорожных покрытий также разделяются по принципу оценки на различные группы и позволяют контролировать ровность только в узком диапазоне длин волн, для обеспечения безопасного и комфортного дорожного движения необходимо использовать набор показателей который позволит охватить весь диапазон длин неровностей. Для надежного контроля ровности необходимо обоюдное согласование и обоснование нормативного значения показателей, используя один и тот же критерий.

Однако согласно публикации [3] в настоящее время для нормирования допустимых показателей ровности дорожных покрытий используют различные критерии:

– обеспечение комфорта движения для водителя и пассажиров (на основе оценки соответствия виброускорений санитарным нормам);

- соблюдение предельного уровня безопасности движения;
- обеспечение надежности и продолжительности работы дорожной конструкции;
- минимума суммарных затрат автомобильного транспорта на перевозку грузов и дорожного хозяйства на осуществление ремонтных мероприятий.

Тем не менее, наиболее значимым критерием, который характеризует уровень обеспечения ровности дорожных покрытий, это влияние вибрации на потребителей дорожных услуг [3].

Соответственно для повышения технического уровня и эксплуатационного состояния существующих дорог предлагается усовершенствовать систему эксплуатационных показателей, в частности нормативных значений ровности дорожных покрытий. Для решения поставленной задачи необходимо разработать математическую модель взаимодействия "дорога-автомобиль-водитель".

Так как основное влияние на плавность хода автомобиля оказывают колебания кузова в вертикальной продольной плоскости, характеризующиеся поступательным перемещением кузова вдоль вертикальной оси (покачивание, угловые колебания вокруг поперечной оси) [1], а на потребителей дорожных услуг (водителя, пассажира) влияют колебания, как передних, так и задних колес. Также, поскольку существуют различия, значений ровности между левой и правой полосой наката, в дальнейшем для обоснования нормативных значений ровности дорожных покрытий необходимо рассматривать колебательную систему полного автомобиля.

Колебательная система полного автомобиля состоит из одной подрессоренной массы (кузова), соединенной на каждом углу упругими связями и демпферами к четырем неподрессоренным массам (переднее левое, переднее правое, заднее левое и заднее правое колесо). Подрессоренная масса подвергается колебаниям в вертикальной продольной плоскости (поступательные перемещения вдоль вертикальной оси z , угловым колебаниям θ вокруг поперечной оси), оказывающим основное влияние на плавность хода автомобиля, а также колебаниям в поперечной плоскости (угловое перемещение φ вокруг продольной оси), которое влияет в основном на управляемость и устойчивость автомобиля. Неподрессоренные массы

$z_1 \dots z_4$

подвергаются только вертикальным перемещениям. Всеми остальными перемещениями масс автомобиля пренебрегаем для этой модели. Следовательно, эта система имеет семь степеней свободы и позволяет смоделировать вертикальное перемещение, ускорение во всех четырех неподрессоренных массах и подрессоренной массы, а также угловые колебания вокруг продольной и поперечной оси подрессоренной массы автомобиля. Упругие и гасящие устройства (демпферы) имеют линейные характеристики. При этом шины моделируем как линейные пружины с учетом эффекта затухания.

Сиденье водителя и пассажира, моделируем, так же как и подвеску автомобиля. Принимаем допущение, что водитель и пассажир испытывают лишь вертикальные колебания на уровне сиденья ($z_{вс}$, $z_{пс}$) и на уровне пола ($z_{вп}$, $z_{пп}$), а упругое и гасящее устройство сиденья имеют линейные характеристики. Также согласно норм [4,5] для легковых, грузовых автомобилей вибрацию моделируем на сиденье водителя; для автобусов на левом сиденье, расположенном над задней осью или вблизи неё. Учитывая выше сказанное, для решения поставленной задачи принимаем эквивалентную колебательную систему, соответствующую полной модели автомобиля с местами сидений водителя и пассажира (рис. 2).

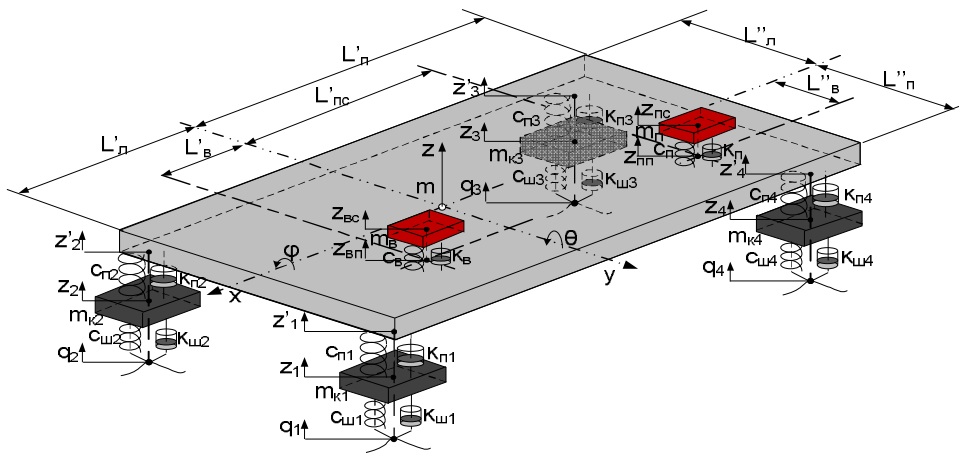


Рис. 2. Эквивалентная колебательная система, соответствующая полной модели автомобиля с местами сидения водителя и пассажира

Колебание такой системы описываем системой дифференциальных уравнений:

$$\begin{aligned}
 m_{z1} \ddot{z}_1 &= c_{m1} (q_1 - z_1) + \kappa_{m1} (\dot{q}_1 - \dot{z}_1) + c_{m1} ([z - (\theta \cdot L'_x - \varphi \cdot L''_x)] - z_1) + \kappa_{m1} ([\dot{z} - (\dot{\theta} \cdot L'_x - \dot{\varphi} \cdot L''_x)] - \dot{z}_1) \\
 &\vdots \\
 m_{z2} \ddot{z}_2 &= c_{m2} (q_2 - z_2) + \kappa_{m2} (\dot{q}_2 - \dot{z}_2) + c_{m2} ([z - (\theta \cdot L'_x + \varphi \cdot L''_x)] - z_2) + \kappa_{m2} ([\dot{z} - (\dot{\theta} \cdot L'_x + \dot{\varphi} \cdot L''_x)] - \dot{z}_2) \\
 &\vdots \\
 m_{z3} \ddot{z}_3 &= c_{m3} (q_3 - z_3) + \kappa_{m3} (\dot{q}_3 - \dot{z}_3) + c_{m3} ([z + (\theta \cdot L'_x - \varphi \cdot L''_x)] - z_3) + \kappa_{m3} ([\dot{z} + (\dot{\theta} \cdot L'_x - \dot{\varphi} \cdot L''_x)] - \dot{z}_3) \\
 &\vdots \\
 &\vdots \\
 m_z \ddot{z} &= c_{п1} (z_1 - [z - (\theta \cdot L_1 \pi^{tr} - \varphi \cdot L_1 \pi^{tr'})]) + c_{п2} (z_2 - [z - (\theta \cdot L_1 \pi^{tr} + \varphi \cdot L_1 \pi^{tr'})]) + c_{п3} (z_3 - [z + (\theta \cdot L_1 \pi^{tr} - \varphi \cdot L_1 \pi^{tr'})]) + c_{п4} (z_4 - [z + (\theta \cdot L_1 \pi^{tr} + \varphi \cdot L_1 \pi^{tr'})]) \\
 &\vdots \\
 J_x \ddot{\varphi} &= -[c_{п3} (z_3 - [z + (\theta \cdot L_1 \pi^{tr} - \varphi \cdot L_1 \pi^{tr'})]) + \kappa_{п3} (\dot{z}_3 - [\dot{z} + (\dot{\theta} \cdot L_1 \pi^{tr} - \dot{\varphi} \cdot L_1 \pi^{tr'})])] + c_{п4} (z_4 - [z + (\theta \cdot L_1 \pi^{tr} + \varphi \cdot L_1 \pi^{tr'})]) + \kappa_{п4} (\dot{z}_4 - [\dot{z} + (\dot{\theta} \cdot L_1 \pi^{tr} + \dot{\varphi} \cdot L_1 \pi^{tr'})]) \\
 &\vdots \\
 &\vdots \\
 m_B \ddot{z}_{вс} &= c_z ([z - (\theta \cdot L'_z - \varphi \cdot L''_z)] - z_{вс}) + \kappa_z ([\dot{z} - (\dot{\theta} \cdot L'_z - \dot{\varphi} \cdot L''_z)] - \dot{z}_{вс}), \\
 m_{п1} \ddot{z}_{пс} &= c_{п1} ([z + (\theta \cdot L'_{пс} + \varphi \cdot L''_z)] - z_{пс}) + \kappa_{п1} ([\dot{z} + (\dot{\theta} \cdot L'_{пс} + \dot{\varphi} \cdot L''_z)] - \dot{z}_{пс}), \\
 &\vdots \\
 &\vdots
 \end{aligned}$$

(2)

где $m_B, \Gamma, m_{п1} \dots m_{пn}$ – соответственно приведенная масса водителя, приведенная масса пассажира, поддресоренная масса автомобиля, неподдресоренные массы автомобиля, кг;
 $z_1 \dots z_n$

$z_{вс}, z_{пс}, z_{пс}, z_{пс}, z$ – соответственно перемещения на уровне сиденья водителя, на уровне пола водителя, на уровне сиденья пассажира, на уровне пола пассажира, поддресоренной массы, неподдресоренных масс, м;
 $q_1 \dots q_n$

– вертикальные координаты точек контакта шины с проезжей частью, м;

$C_{п1} \dots C_{п4}$ $C_{ш1} \dots C_{ш4}$

$C_{п1}, C_{п2}, C_{п3}, C_{п4}$ – відповідно жорсткість сидіння водія, жорсткість сидіння пасажера, жорсткість ресор підвіски автомобіля, жорсткості шин автомобіля, Н/м;

$K_{в}, K_{п}, K_{ш1}, K_{ш2}, K_{ш3}, K_{ш4}$ – відповідно коефіцієнт демпфування (сопротивлення) сидіння водія, коефіцієнт демпфування сидіння пасажера, коефіцієнти демпфування амортизаторів, коефіцієнти демпфування шин автомобіля, Н·с/м;

J_{x}, J_{y} – відповідно момент інерції піддресореної маси автомобіля навколо поперечної і продольної осей крена автомобіля, Н·м²;

φ, θ – відповідно кут поперечного і продольного крена автомобіля, рад;

$L'_{п}$ – відстань між осью переднього моста і центром тяжкості автомобіля, м;

$L''_{п}$ – відстань між осью заднього моста і центром тяжкості автомобіля, м;

$L''_{л}, L''_{п}$ – половина колії автомобіля, м;

$L'_{в}$ – продольне відстань між центром тяжкості сидіння водія і центром тяжкості автомобіля, м.

$L'_{пс}$ – продольне відстань між центром тяжкості сидіння пасажера і центром тяжкості автомобіля, м

$L''_{в}$ – поперечне відстань між центром тяжкості сидіння водія (пасажера) і центром тяжкості автомобіля, м

Дана модель дозволить визначити вплив вібрації на споживачів дорожніх послуг, при русі транспортного засобу з урахуванням його швидкості і погіршенні показателя рівності.

Висновки:

– для обґрунтування нормативних значень рівності дорожніх покриттів за критерієм дотримання граничного рівня безпеки руху і забезпечення комфорту руху для водія і пасажирів, краще використовувати еквівалентну коливаючу систему, що відповідає повній моделі автомобіля з місцями сидіння водія і пасажера (рис.2);

– необхідно переглянути діючі норми, які стосуються до прийомного контролю рівності дорожніх покриттів, в період будівництва, після капітального або поточних ремонтів і вимог до рівності покриттів автомобільних доріг, які знаходяться в експлуатації.

1. Ротенберг Р. В. Підвіска автомобіля / Р. В. Ротенберг– [3-е изд.]. – М.: Машиностроение, 1972. – 392 с.
2. Савенко В. Я. Недоліки оцінки рівності поверхні дорожніх покриттів, яку використовують в Україні / В.Я. Савенко, В.В. Філіппов, Д.І. Кіяшко, Р.В. Смолянюк, Н.В. Смірнова // Автошляховик України. – К. : Держ. автотр. наук. досл. і проектн. ін-т, 2011. – № 6. – С. 24–31.
3. Савенко В. Я. Про обґрунтування рівня показників рівності дорожніх покриттів / В.Я. Савенко, Д.І. Кіяшко // Автомобільні дороги і дор. буд-во. – К.: НТУ, 2011. – № 81. – С. 19–22.
4. Отраслевая нормаль автомобилестроения. Автомобильный подвижной состав. Плавность хода. Методы испытаний : ОН 025 332-69. – М. : ИПК Изд-во стандартов, 1974. – 16 с.
5. Автотранспортные средства. Методы испытаний на плавность хода : ОСТ 37.001.275-84. – М. : НАМИ, 1985. – 12 с.