

# ДОРОЖНІ УМОВИ ТА БЕЗПЕКА РУХУ

УДК 625.7.032.32

Кияшко Д.И.

## ПУТЬ К КОМФОРТУ И БЕЗОПАСНОСТИ

**Аннотация.** В работе проанализировано нормирование допустимых значений ровности дорожных покрытий. Предложена математическая модель взаимодействия "дорога-автомобиль-водитель" используя критерий обеспечения предельного уровня безопасности движения и комфорта движения для водителя и пассажиров. Приведен метод нормирования ровности дорожных покрытий согласно влиянию вибрации, на человека используя методику и нормативные значения вибронагрузки.

**Ключевые слова:** проезжая часть, ровность, полная модель автомобиля, комфорт езды,общая вибрация.

**Анотація.** У роботі проаналізовано нормування допустимих значень рівності дорожніх покриттів. Запропонована математична модель взаємодії "дорога-автомобіль-водій" використовуючи критерій дотримання граничного рівня безпеки руху та забезпечення комфорту руху для водія і пасажирів. Наведено метод нормування рівності дорожніх покриттів відповідно за впливом вібрації на людину використовуючи методику та нормативні значення вибронантаження.

**Ключові слова:** проїзна частина, рівність, повна модель автомобіля, комфорт їзди,загальна вібрація.

**Annotation.** The regulation of permissible values pavement smoothness are analyzed in the given article. A mathematical model of interaction between "the road-car-driver" using the criteria to respect the level of safety and comfort of movement for the driver and passengers is proposed. A method of valuation pavement evenness

according to the influence of vibration on the human using the methodology and normative values of whole body vibration is presented.

**Key words:** pavement, roughness, full-car model, ride comfort, whole body vibration (WBV).

Обеспечение требований, которые направлены на достижение лучшего комфорта и управляемости автомобилей при повышении скоростей дорожного движения постоянно побуждают конструкторов транспортных средств разрабатывать эффективные системы автомобильных подвесок и внедрять новые конструкторские решения. В последнее время кроме классических пассивных подвесок, в которых гашение вибрации в первую очередь зависит от жесткости пружины, коэффициента демпфирования и массы автомобиля получили развитие полуактивные и активные подвески. Основной характеристикой полуактивной подвески является то, что система изменяет коэффициент демпфирования, делая амортизатор жестче или мягче в зависимости от неровностей поверхности дороги. Система активной подвески, самостоятельно используя специальный привод, создает усилие, противоположное по знаку и равное по величине вибрационным нагрузкам основываясь на изменяющихся неровностях поверхности дороги [1].

Разработка современных систем подвески для автотранспортных средств, направлена в первую очередь на усовершенствование транспортных средств в отношении комфорта, управляемости и безопасности, при этом подвеска одновременно должна удовлетворять нескольким требованиям:

– для комфорта движения подвеска должна изолировать водителя и пассажиров от вибрации, возникающей в результате проезда автомобиля по дорожным неровностям;

– для безопасности дорожного движения, должен быть обеспечен постоянный контакт между шинами автомобиля и дорожным покрытием.

При этом в реальных условиях движения данные требования иногда входят между собой в некоторое противоречие. Поэтому каждая конкретная конструкция подвески основывается на результатах компромисса между безопасностью и комфортом.

В свою очередь обеспечение непрерывных, безопасных, экономических и комфортных условий дорожного движения, осуществление мероприятий, направленных на защиту окружающей природной среды является главной

целью дорожной службы. При этом повышение или поддержание требуемых значений транспортно-эксплуатационных показателей автомобильных дорог в частности ровности дорожных покрытий является её основной задачей.

Учитывая выше сказанное, дорожники и автомобилисты должны обеспечивать безопасное и комфортное дорожное движение, при этом происходит некая несогласованность, связанная с ровностью дорожных покрытий. Автомобилисты при проектном расчете подвески автомобиля, ровность дорожного покрытия рассматривают либо детерминистически (приводя к волнообразному гармоническому профилю или к единичной неровности), либо статистически (по конкретной реализации профиля или по его статистической характеристике) [2]. При этом принято считать, 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.

### **Анализ публикаций**

Нормированием показателей ровности дорожных покрытий занимались такие отечественные исследователи как: А.К. Бируля, М.Я. Говорущенко, В.В. Филиппов, С.С. Кизима, Н.В. Крупа и др., а также зарубежные: А.П. Васильев, В.М. Сиденко, В.А. Сильянов, М. Сайерс, С. Карамигас, Г. Бонин, Г. Кантисани, Г. Лопренсипе, М. Сброли, О.А. Красиков, В.В. Чванов, Д.А. Стрижевский, Ю.К. Комов, Т.В. Медведева, О.М. Жилина и др.

Согласно проведенному анализу [3] действующие в настоящее время нормативные значения показателей ровности дорожных покрытий установлены 40 лет назад экспериментально используя прямые методы исследований, при этом естественно использовались автомобили устаревших марок [4]. В дальнейшем данные значения показателей ровности уточнялись, используя

косвенные методы исследований [3]. Однако очевидно, что за прошедший период времени возросли скорости движения автомобилей, ужесточились требования к плавности хода автомобилей, усовершенствовались технологии строительства дорожных одежд, появились новые дорожно-строительные материалы.

На основании выполненного анализа литературных источников [3-8], для обоснования нормативных значений ровности дорожных покрытий используют различные методы исследований:

1. *Прямые методы*, основаны на измерении показателей (виброускорение кузова, виброускорение сиденья водителя, динамическая нагрузка шины на дорожное покрытие, шум, и т.д.), которые определяются путем реального проезда автомобиля по проезжей части дороги с применением различных приборов, или использовании статистической оценки суждений потребителей дорожных услуг (субъективная групповая оценка);

2. *Косвенные методы*, основаны на использовании различных формул, зависимостей которые носят явно эмпирический характер, а также экономических и других критериев позволяющих косвенно определять функциональные действия имеющие отношение к ровности проезжей части;

3. *Методы моделирования*, заключаются в измерении показателей, которые получают путем моделирования движения автомобиля по поверхности проезжей части участка автомобильной дороги, на основе предварительно полученного физического профиля проезжей части покрытия, приборами измерения физического профиля (рейка с нивелиром, трехметровая рейка, профилографы, профилометрические системы и др.).

Прямые методы в большей степени зависят от различных факторов (измерительного оборудования, технических параметров автомобиля, скорости движения, фактического профиля проезжей части автомобильной дороги и от методологии их оценки), которые не постоянны во времени и делают затрудненным воспроизводимость результатов измерений. Косвенные методы не связаны с динамическим влиянием неровностей дорожного покрытия на автомобиль, а также не отражают воздействие вибрации на потребителей дорожных услуг (водителя, пассажиров), поэтому использование данных методов возможно для планирования мероприятий по повышению транспортно-эксплуатационного состояния дорог и экономической оценки инвестиций. Напротив, методы моделирования, которые основываются на

моделировании движения автомобиля по предварительно измеренному физическому профилю проезжей части, в отличие от прямых методов менее интенсивно влияют на воспроизводимость результатов, поскольку все факторы постоянные во времени. Также в отличие от косвенных методов, методы моделирования непосредственно связаны с динамическим влиянием неровностей дорожного покрытия на автомобиль и отражают воздействие вибрации на потребителей дорожных услуг. Согласно многим исследованиям, которые выполнены в последние годы в различных странах [3-6], решающим и исключаящим другие методы является метод моделирования, при этом значение ровности дорожных покрытий обосновывается по критерию соблюдения предельного уровня безопасности движения и обеспечения комфорта движения для водителя и пассажиров.

**Цель работы** заключается в разработке математической модели, взаимодействия "дорога-автомобиль-водитель", используя критерий соблюдения предельного уровня безопасности движения и обеспечения комфорта движения для водителя и пассажиров. Данная модель позволит определить воздействие вибронагрузки на потребителей дорожных услуг, при движении транспортного средства с учетом его скорости и ухудшении показателя ровности. А также разработки метода нормирования ровности дорожных покрытий согласно влиянию вибрации, на человека используя методик и нормативные значения вибронагрузки, что даст возможность рассчитать предельные показатели ровности дорожных покрытий, для разных категорий автомобильных дорог, учитывая скорость движения и технические параметры транспортного средства.

### **Математическая модель взаимодействия "дорога-автомобиль-водитель"**

Транспортные средства представляют собой сложные системы, состоящие из многих жестких и деформируемых компонентов. Полная модель автомобиля представляет собой нелинейную систему, состоящую из нескольких масс (кузова, колес, двигателя, кабины и др.) связанных между собою упругими связями и демпферами, в результате чего образуется большое количество степеней свободы. Так как не имеет смысла создавать универсальную модель автомобиля, которая может быть использована для решения всех динамических задач, необходимо вводить допущения для конкретных задач исследования. Поскольку в литературе [2,9-12] описано достаточно большое количество

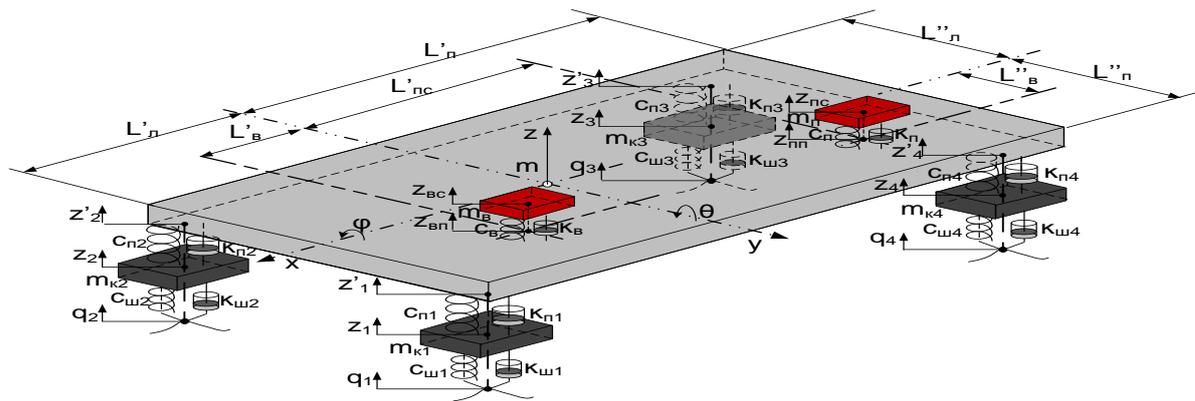
моделей эквивалентных автомобилю, которые используются для оценки плавности хода, для решения поставленной цели можно выделить основные: модель четверти автомобиля; модель половины автомобиля; "велосипедная" модель автомобиля; полная модель автомобиля.

Так как основное влияние на плавность хода автомобиля оказывает колебание кузова в вертикальной продольной плоскости, характеризующиеся поступательным перемещением кузова вдоль вертикальной оси (покачивание, угловые колебания вокруг поперечной оси) [2], на колебания водителя (пассажира) влияют колебания, как передних, так и задних колес. При этом также, необходимо учитывать существующие различия, значений ровности между левой и правой полосой наката, что обосновывает необходимость рассматривать колебательную систему полного автомобиля, которая позволит рассмотреть колебания водителя и пассажира как в продольной, так и поперечной плоскостях.

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  $\theta$  вокруг поперечной оси или покачивание), оказывающим основное влияние на плавность хода автомобиля, а также колебаниям в поперечной плоскости (угловое перемещение  $\varphi$  вокруг продольной оси или пошатывание), которое влияет в основном на управляемость и устойчивость автомобиля. Неподрессоренные массы подвергаются только вертикальным перемещениям  $z_1 \dots z_4$ . 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 [13,14] 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. 1).



**Рисунок 1** – Эквивалентная колебательная система, соответствующая полной модели автомобиля с местами сидений водителя и пассажира

Колебание такой системы описываем системой дифференциальных уравнений:

$$\begin{aligned}
 m_{k1}\ddot{z}_1 &= c_{ш1}(q_1 - z_1) + \kappa_{ш1}(\dot{q}_1 - \dot{z}_1) + c_{n1}([z - (\theta \cdot L'_n + \phi \cdot L''_n)] - z_1) + \kappa_{n1}([\dot{z} - (\dot{\theta} \cdot L'_n + \dot{\phi} \cdot L''_n)] - \dot{z}_1); \\
 m_{k2}\ddot{z}_2 &= c_{ш2}(q_2 - z_2) + \kappa_{ш2}(\dot{q}_2 - \dot{z}_2) + c_{n2}([z + (\theta \cdot L'_n - \phi \cdot L''_n)] - z_2) + \kappa_{n2}([\dot{z} + (\dot{\theta} \cdot L'_n - \dot{\phi} \cdot L''_n)] - \dot{z}_2); \\
 m_{k3}\ddot{z}_3 &= c_{ш3}(q_3 - z_3) + \kappa_{ш3}(\dot{q}_3 - \dot{z}_3) + c_{n3}([z + (\theta \cdot L'_n + \phi \cdot L''_n)] - z_3) + \kappa_{n3}([\dot{z} + (\dot{\theta} \cdot L'_n + \dot{\phi} \cdot L''_n)] - \dot{z}_3); \\
 m_{k4}\ddot{z}_4 &= c_{ш4}(q_4 - z_4) + \kappa_{ш4}(\dot{q}_4 - \dot{z}_4) + c_{n4}([z + (\theta \cdot L'_n - \phi \cdot L''_n)] - z_4) + \kappa_{n4}([\dot{z} + (\dot{\theta} \cdot L'_n - \dot{\phi} \cdot L''_n)] - \dot{z}_4); \\
 m\ddot{z} &= c_{n1}(z_1 - [z - (\theta \cdot L'_n + \phi \cdot L''_n)]) + c_{n2}(z_2 - [z + (\theta \cdot L'_n - \phi \cdot L''_n)]) + c_{n3}(z_3 - [z + (\theta \cdot L'_n + \phi \cdot L''_n)]) + \\
 &+ c_{n4}(z_4 - [z + (\theta \cdot L'_n - \phi \cdot L''_n)]) + \kappa_{n1}(\dot{z}_1 - [\dot{z} - (\dot{\theta} \cdot L'_n + \dot{\phi} \cdot L''_n)]) + \kappa_{n2}(\dot{z}_2 - [\dot{z} + (\dot{\theta} \cdot L'_n - \dot{\phi} \cdot L''_n)]) + \\
 &+ \kappa_{n3}(\dot{z}_3 - [\dot{z} + (\dot{\theta} \cdot L'_n + \dot{\phi} \cdot L''_n)]) + \kappa_{n4}(\dot{z}_4 - [\dot{z} + (\dot{\theta} \cdot L'_n - \dot{\phi} \cdot L''_n)]) + c_B(z_{вс} - [z - (\theta \cdot L'_B + \phi \cdot L''_B)]) + \\
 &+ \kappa_B(\dot{z}_{вс} - [\dot{z} - (\dot{\theta} \cdot L'_B + \dot{\phi} \cdot L''_B)]) + c_n(z_{пс} - [z + (\theta \cdot L'_{пс} - \phi \cdot L''_{пс})]) + \kappa_n(\dot{z}_{пс} - [\dot{z} + (\dot{\theta} \cdot L'_{пс} - \dot{\phi} \cdot L''_{пс})]); \\
 J_x\ddot{\phi} &= [c_{n3}(z_3 - [z + (\theta \cdot L'_n + \phi \cdot L''_n)]) + \kappa_{n3}(\dot{z}_3 - [\dot{z} + (\dot{\theta} \cdot L'_n + \dot{\phi} \cdot L''_n)]) + c_{n2}(z_2 - [z + (\theta \cdot L'_n - \phi \cdot L''_n)]) \\
 &+ \kappa_{n2}(\dot{z}_2 - [\dot{z} + (\dot{\theta} \cdot L'_n - \dot{\phi} \cdot L''_n)])]L''_n + [c_{n1}(z_1 - [z - (\theta \cdot L'_n + \phi \cdot L''_n)]) + \kappa_{n1}(\dot{z}_1 - [\dot{z} - (\dot{\theta} \cdot L'_n + \dot{\phi} \cdot L''_n)]) + \\
 &+ c_{n4}(z_4 - [z + (\theta \cdot L'_n - \phi \cdot L''_n)]) + \kappa_{n4}(\dot{z}_4 - [\dot{z} + (\dot{\theta} \cdot L'_n - \dot{\phi} \cdot L''_n)])]L''_n + [c_B(z_{вс} - [z - (\theta \cdot L'_B + \phi \cdot L''_B)]) + \\
 &+ \kappa_B(\dot{z}_{вс} - [\dot{z} - (\dot{\theta} \cdot L'_B + \dot{\phi} \cdot L''_B)]) + c_n(z_{пс} - [z + (\theta \cdot L'_{пс} - \phi \cdot L''_{пс})]) + \kappa_n(\dot{z}_{пс} - [\dot{z} + (\dot{\theta} \cdot L'_{пс} - \dot{\phi} \cdot L''_{пс})])]L''_B; \\
 J_y\ddot{\theta} &= [c_{n1}(z_1 - [z - (\theta \cdot L'_n + \phi \cdot L''_n)]) + \kappa_{n1}(\dot{z}_1 - [\dot{z} - (\dot{\theta} \cdot L'_n + \dot{\phi} \cdot L''_n)]) + c_{n2}(z_2 - [z + (\theta \cdot L'_n - \phi \cdot L''_n)])
 \end{aligned} \tag{1}$$

$$\begin{aligned}
& +\kappa_{п2}(\dot{z}_2 - [\dot{z} + (\dot{\theta} \cdot L'_л - \dot{\phi} \cdot L''_л)])L'_л + [\kappa_{п4}(z_4 - [z + (\theta \cdot L'_п - \phi \cdot L''_п)]) + \kappa_{п4}(\dot{z}_4 - [\dot{z} + (\dot{\theta} \cdot L'_п - \dot{\phi} \cdot L''_п)])] + \\
& + \kappa_{п3}(z_3 - [z + (\theta \cdot L'_п + \phi \cdot L''_п)]) + \kappa_{п3}(\dot{z}_3 - [\dot{z} + (\dot{\theta} \cdot L'_п + \dot{\phi} \cdot L''_п)])L'_п - [c_B(z_{вс} - [z - (\theta \cdot L'_в + \phi \cdot L''_в)]) + \\
& + \kappa_B(\dot{z}_{вс} - [\dot{z} - (\dot{\theta} \cdot L'_в + \dot{\phi} \cdot L''_в)])]L'_в + [c_п(z_{пс} - [z + (\theta \cdot L'_пс - \phi \cdot L''_в)]) + \kappa_п(\dot{z}_{пс} - [\dot{z} + (\dot{\theta} \cdot L'_пс - \dot{\phi} \cdot L''_в)])]L'_пс; \\
m_B \ddot{z}_{вс} = c_B([z - (\theta \cdot L'_в + \phi \cdot L''_в)] - z_{вс}) + \kappa_B([\dot{z} - (\dot{\theta} \cdot L'_в + \dot{\phi} \cdot L''_в)] - \dot{z}_{вс}); \\
m_п \ddot{z}_{пс} = c_п([z + (\theta \cdot L'_пс - \phi \cdot L''_в)] - z_{пс}) + \kappa_п([\dot{z} + (\dot{\theta} \cdot L'_пс - \dot{\phi} \cdot L''_в)] - \dot{z}_{пс}).
\end{aligned}$$

ГДЕ  $m_B, m_п, m, m_{к1} \dots m_{к4}$  – соответственно приведенная масса водителя, приведенная масса пассажира, подрессоренная масса автомобиля, неподдресоренные массы автомобиля, кг;

$z_{вс}, z_{вп}, z_{пс}, z_{пп}, z, z_1 \dots z_4$  – соответственно перемещения на уровне сиденья водителя, на уровне пола водителя, на уровне сиденья пассажира, на уровне пола пассажира, подрессоренной массы, неподдресоренных масс, м;

$q_1 \dots q_4$  – вертикальные координаты точек контакта шины с проезжей частью, м;

$c_B, c_п, c_{п1} \dots c_{п4}, c_{ш1} \dots c_{ш4}$  – соответственно жесткость сиденья водителя, жесткость сиденья пассажира, жесткость рессор подвески автомобиля, жесткости шин автомобиля, Н/м;

$\kappa_B, \kappa_п, \kappa_{п1} \dots \kappa_{п4}, \kappa_{ш1} \dots \kappa_{ш4}$  – соответственно коэффициент демпфирования (сопротивления) сиденья водителя, коэффициент демпфирования сиденья пассажира, коэффициенты демпфирования амортизаторов, коэффициенты демпфирования шин автомобиля, Н·с/м;

$J_x, J_y$  – соответственно момент инерции подрессоренной массы автомобиля вокруг поперечной и продольной оси крена автомобиля, Н·м<sup>2</sup>;

$\phi, \theta$  – соответственно угол поперечного и продольного крена автомобиля, рад;

$L'_л$  – расстояние между осью переднего моста и центром тяжести автомобиля, м;

$L'_п$  – расстояние между осью заднего моста и центром тяжести автомобиля, м;

$L''_л, L''_п$  – половина колеи автомобиля, м;

$L'_в$  – продольное расстояние между центром тяжести сиденья водителя и центром тяжести автомобиля, м.

$L'_пс$  – продольное расстояние между центром тяжести сиденья пассажира и центром тяжести автомобиля, м

$L''_B$  – поперечное расстояние между центром тяжести сиденья водителя (пассажира) и центром тяжести автомобиля, м

### Уровень комфорта

Оценку влияния вибрации на человека и нормирование ее предельно допустимого уровня в Украине необходимо выполнять согласно ДСТУ ISO 2631-1 [15] и ДСН 3.3.6.039 [16].

В стандарте ДСН 3.3.6.039 приведены среднеквадратические значения виброускорений в диапазоне октавных полос, а также установлены методы гигиенической оценки вибрации, которая действует на человека:

- частотного (спектрального) анализа ее параметров;
- интегральной оценки по спектру частот параметров, которые нормируются;
- дозы вибрации.

В стандарте ДСТУ ISO 2631-1 установлены критерии возможного влияния вибрации на здоровье, на комфорт и восприятие, степень морской болезни. Для решения поставленной задачи рассмотрим следующие частотные диапазоны:

- от 0,5 Гц до 80 Гц (для здоровья, комфорта и восприятия);
- от 0,1 Гц до 0,5 Гц (для возникновения морской болезни).

Оценку влияния вибрации на человека согласно ДСТУ ISO 2631-1 и ДСН 3.3.6.039 проводят на основе взвешенного среднеквадратического значения (с.к.з.) виброускорения. В результате расчета определяют взвешенное с.к.з. виброускорения для третьоктавной полосы частот по формуле (1), а после определяют частотное взвешенное вертикальное виброускорение по формуле (2).

$$a_i = \left[ \frac{1}{T} \int_0^T a_i^2(t) dt \right]^{1/2}, \quad (1)$$

где  $a_i(t)$  – взвешенное вертикальное виброускорение сиденья водителя (пассажира), м/с<sup>2</sup>;

$T$  – время измерения, сек.

Частотное взвешенное с.к.з. виброускорение определяется согласно формуле:

$$a_w = [\sum_i (W_i \cdot a_i)^2]^{1/2}, \quad (2)$$

где  $a_w$  – частотное взвешенное виброускорение, м/с<sup>2</sup>;

$W_i$  – коэффициент взвешивания третьоктавной полосы частот;

$a_i$  – с.к.з. виброускорение для третьоктавной полосы частот, м/с<sup>2</sup>.

Согласно ДСТУ ISO 2631-1 "Граница комфорта" определяет предел эффективной работы. Она соответствует уровню, превышение которого может вызвать значительное снижение продуктивности работы потребителя, а также привести к появлению сильной усталости при вождении транспортных средств. Значения границ комфорта (табл. 1) показывают уровни комфорта водителя и пассажиров, которые возникают при воздействии суммарных значений вибрации в общественном транспорте.

**Таблица 1** – Уровни комфорта относительно пороговых значений  $a_w$  [14]

<b>Интервалы значений <math>a_w</math></b>	<b>Уровень комфорта</b>
меньше чем 0,315 м/с <sup>2</sup>	комфортно
от 0,315 м/с <sup>2</sup> до 0,63 м/с <sup>2</sup>	немного некомфортно
от 0,5 м/с <sup>2</sup> до 1 м/с <sup>2</sup>	довольно некомфортно
от 0,8 м/с <sup>2</sup> до 1,6 м/с <sup>2</sup>	некомфортно
от 1,25 м/с <sup>2</sup> до 2,5 м/с <sup>2</sup>	очень некомфортно
свыше 2 м/с <sup>2</sup>	чрезвычайно некомфортно

"Граница здоровья" обеспечивает сохранение здоровья и безопасности водителя и пассажира. Она отвечает приблизительно половине уровня, который считается порогом до появления болезненных ощущений. Превышение "границы здоровья" не рекомендуется без принятия специальных мер осторожности. "Порог восприятия" в транспортных средствах устанавливают из условия когда средний порог восприятия человека составляет около 0,015 м/с<sup>2</sup>, то есть он показывает границу при которой водитель и пассажир уже начинают ощущать вибрацию. "Граница морской болезни" определяет предел необходимой дозы вибрации для наступления морской болезни.

## **Выводы**

Учитывая выше сказанное можно сделать следующие выводы:

– для обоснования нормативных значений ровности дорожных покрытий по критерию соблюдения предельного уровня безопасности движения и обеспечения комфорта движения для водителя и пассажиров, предпочтительнее использовать эквивалентную колебательную систему, соответствующую полной модели автомобиля с местами сидений водителя и пассажира (рис.1);

– при проектировании автомобильных дорог, при контроле ровности дорожных покрытий участков дорог, после строительства или после капитального или текущего ремонтов, особенно для дорог Ia и Ib категорий, где должна обеспечиваться большая скорость движения обоснование нормативных значений ровности необходимо рассчитывать по критериям возможного влияния вибрации на восприятие и на степень морской болезни;

– в качестве базовых значений для контроля ровности дорожных покрытий автомобильных дорог всех категорий, в период эксплуатации, нормативные значения ровности дорожных покрытий необходимо обосновывать по критерию возможного влияния вибрации на комфорт;

– уровни относительного комфорта (табл. 1) согласно ДСТУ ISO 2631-1 необходимо выбирать в зависимости от технической категории автомобильных дорог и в зависимости от классификации автомобильных дорог общего пользования;

– в качестве предельно допустимых значений для контроля ровности дорожных покрытий автомобильных дорог всех категорий, в период эксплуатации нормативные значения ровности дорожных покрытий необходимо обосновать по критерию возможного влияния вибрации на здоровье согласно ДСТУ ISO 2631-1 и по среднеквадратическим значениям виброускорений приведенных в стандарте ДСН 3.3.6.039.

## **Литература**

1. Мажей А.А. Анализ эффективности полуактивной подвески заднего моста автомобиля, работающей по алгоритму предсказания / А.А. Мажей, А.А. Ракицкий // 47-я международная конференция "Повышение конкурентоспособности автотранспортных средств". – Минск.: ААИ, 2004. [Электронный ресурс]: Режим доступа : [http://automobile.narod.ru/Books/semiactive\\_mazhei.pdf](http://automobile.narod.ru/Books/semiactive_mazhei.pdf) – Загол. с экрана.

2. Ротенберг Р. В. Подвеска автомобиля / Р. В. Ротенберг– [3-е изд.]. – М.: Машиностроение, 1972. – 392 с.
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. Бируля А. К. Эксплуатация автомобильных дорог : [учебник для вузов] / А. К. Бируля – М.: Транспорт, 1966. – 326с.
5. Bonin G. Ride quality evaluation: 8 d.o.f. vehicle model calibration / G. Bonin, G. Cantisani, G. Loprencipe, M. Sbrilli // Memoria con referee per il IV Convegno Internazionale della Società Italiana Infrastrutture Viarie. – Strade, Ferrovie e Aeroporti. Palermo, 2007. [Электронный ресурс]: Режим доступа: [http://sed.siiiv.it/documenti/63\\_2848\\_20080110110106.pdf](http://sed.siiiv.it/documenti/63_2848_20080110110106.pdf) – Загол. с экрана.
6. Чванов В.В. Обоснование норм продольной ровности дорожных покрытий, методов ее измерения и контроля / В.В. Чванов, Н.А. Лушников, А.М. Стрижевский//Дороги России XXI века. – 2008.- №6.- С.58 – 62.
7. Сиденко В. М. Эксплуатация автомобильных дорог : [учебник для вузов] / В. М. Сиденко, С. И. Михович. – М.: Транспорт, 1976. – 288с.
8. Васильев А. П. Эксплуатация автомобильных дорог : в 2 т. – Т. 1 : [учебник для вузов] / А. П. Васильев. – М.: Издательский центр «Академия», 2010. – 320 с.
9. Хачатуров А. А. Динамика системы дорога-шина-автомобиль-водитель [Текст] / А. А. Хачатуров, В. Л. Афанасьев, В. С.Васильев. – М. : Машиностроение, 1976. – 535 с.
- 10.Литвинов А. С. Автомобиль. Теория эксплуатационных свойств : [учебник для вузов] / А. С. Литвинов, Я. Е. Фаробин. – М. : Машиностроение, 1989, – 240 с.
- 11.Jazar R.N. Vehicle Dynamics: Theory and Application / R. N. Jazar – New York: Springer Science + Business Media,. 2009 – 1015 p.
- 12.Gillespie T.D. Fundamentals of Vehicle Dynamics / T. D. Gillespie – Warrendale: Society of Automotive Engineers, 1996 – 470 p.
- 13.Отраслевая нормаль автомобилестроения. Автомобильный подвижной состав. Плавность хода. Методы испытаний : ОН 025 332-69. – М. : ИПК Изд-во стандартов, 1974. – 16 с.
- 14.Автотранспортные средства. Методы испытаний на плавность хода : ОСТ 37.001.275-84. – М. : НАМИ, 1985. – 12 с.
- 15.Вібрація та удар механічні. Оцінка впливу загальної вібрації на людину : ДСТУ ISO 2631-1:2004. – [Чинний від 2006-04-01). – К. : Держстандарт України, 2004. – 41 с.
- 16.Державні санітарні норми виробничої загальної та локальної вібрації : ДСН 3.3.6.039-99.–[Чинний від 1999-12-01). – К. : Держстандарт України,1999. –47с.