

УДК 625.8

Белкова Юлия Александровна, канд. физ.-мат. наук, доц.,
МАДИ, Россия, 125319, Москва, Ленинградский пр., 64, belkova-fiz@mail.ru

Водык Константин Михайлович, студент,
МАДИ, Россия, 125319, Москва, Ленинградский пр., 64, konsantarob@yandex.ru

Головко Даниил Денисович, студент,
МАДИ, Россия, 125319, Москва, Ленинградский пр., 64, strong.dannil@mail.ru

ОБРАЗОВАНИЕ ПРОФИЛЯ ДОРОЖНОГО ПОКРЫТИЯ ТИПА «ГРЕБЕНКА»

Аннотация. В статье рассматривается актуальная для нашей страны проблема неровности дорожного покрытия. Приводятся статистические данные, основанные на опросе населения. Объясняются причины возникновения неровности дорог типа «гребенка», рассматриваются физические процессы, происходящие при движении транспортных средств по дорогам с грунтовым и гравийным покрытием, приводятся экспериментальные подтверждения формирования «гребенки». Рассматриваются математические модели описания данного явления, на основе которых проводятся расчеты параметров формирующейся «гребенки» для конкретной марки автомобиля. Предлагается ряд рекомендаций для автомобилистов при движении по дороге с неровностями типа «гребенка». Работа выполнена на кафедре физики в рамках подготовки студентов Автомобильно-транспортного факультета к Научно-исследовательской и научно-практической конференции МАДИ.

Ключевые слова: модуль сдвига материала покрытия; плотность материала покрытия; коэффициент жесткости пружины; шаг гребенки; амплитуда гребенки.

Belkova Yulia A., Ph. D., associate professor,
MADI, 64, Leningradsky prosp., Moscow, 125319, Russia, belkova-fiz@mail.ru,

Vodyk Konstantin M., student,
MADI, 64, Leningradsky prosp., Moscow, 125319, Russia, konsantarob@yandex.ru

Golovko Daniil D., student,
MADI, 64, Leningradsky prosp., Moscow, 125319, Russia, strong.dannil@mail.ru

FORMATION OF ROAD COATING PROFILE OF «COMB» TYPE

Abstract. The article deals with the problem of irregularity of road covering actual in our country, providing statistical data based on a survey of the population. The reasons for the formation of road irregularities of the “Comb” type are explained, the physical processes occurring during the movement of vehicles on roads with an earth and gravel surface are considered, experimental confirmation of the “Comb” formation is given. Mathematical models of the description of this phenomenon are described, on the basis of which the parameters of the forming “Comb” are calculated for a specific car model. A number of recommendations are proposed for car drivers when driving on the road with irregularities like “Comb”. The work was done in the Department of Physics during the preparation of students of the Automobile Transport Faculty for the Scientific-research and scientific-practical MADI conference.

Key words: shift modulus of the coating material; the density of the coating material; the spring stiffness coefficient; the step of the comb; the amplitude of the comb.

Введение

Проблема неровности дорожного покрытия традиционно является актуальной для нашей страны. По результатам статистических исследований [1, 2], проведенных в 2018 году, 32% проголосовавших россиян выразили своё категорическое недовольство состоянием дорожного полотна (табл.). Можно предположить, что одним из факторов, повлиявших на мнение опрошенных, было формирование на грунтовом покрытии дорог дефекта типа «гребёнка».

Таблица

Статистика оценки состояния автомобильных дорог

| Как вы оцените состояние автомобильных дорог в вашем регионе: состояние дорожного полотна | 2016 г. | 2017 г. | 2018 г. |
|---|---------|---------|---------|
| Абсолютно неудовлетворительное | 31% | 39% | 32% |
| Скорее неудовлетворительное | 28% | 19% | 18% |
| Скорее удовлетворительное | 32% | 32% | 39% |
| Хорошее | 9% | 10% | 11% |

На данный момент «гребенка» остается одним из наименее изученных видов деформации на дорожном покрытии.

«Гребенка» – это равномерно расположенные поперечные волнистые неровности, образующиеся на щебеночных, гравийных и грунтовых покрытиях под действием движения транспортных средств.

Анализ причин возникновения и возможные пути исправление данного дефекта является насущной задачей.

Причины формирования профиля «гребенка»

Принято считать, что при движении колеса автомобиля по грунтовому или песчано-гравийному покрытию происходит перемещение материала покрытия, в результате по ходу движения колеса формируется гребень. Колесо заезжает по гребню вверх и подлетает в воздух, а после падения на некотором расстоянии колесо выбивает часть

материала покрытия, а часть – уплотняет. В любом случае это воздействие создает очередную впадину, развивая волнистый профиль.

Экспериментальное доказательство формирования «гребенки» было осуществлено К.Б. Мэзером в 1963 году (результаты опубликованы в журнале Scientific American в январе того же 1963-го года).

Была использована специальная плита, которую протаскивали по песку с разными скоростями до достижения эффекта «гребенки». В нашей экспериментальной установке примерно такой же принцип действия, только мы имеем вращающийся стол, на котором уложен слой песка. Твердое резиновое колесо, прикрепленное к так называемой руке, свободно катается по зернистой дороге со скоростью колеса до 10 км/ч. В конце концов, было выяснено, что эффект «стиральной доски» образовывался при протаскивании плиты или движения колеса со скоростью 8 км/час и выше.

Опытным путем было доказано, что причиной образования «гребенки» является пластическая деформация материала покрытия, когда дорога была мокрой. Наблюдая за формированием «гребенки», исследователи заметили, что чаще она образуется в местах, где дорога петляет, на подъемах и спусках и на участках между дорогой с капитальным покрытием и без него, причем длина волны «гребенки» в среднем составляла 50 сантиметров.

Встречается мнение, что «гребёнка» появляется из-за проезда тяжёлой техники или гусеничного трактора. Это не так. Тяжёлая колёсная техника может оставить колеи, в том числе с характерными отпечатками тракторных покрышек, но их вид не будет иметь ни чего общего с «гребёнкой» – просто колеи. Встречается заблуждение, что образование «гребенки» связано с тем, что «машины более-менее похожи, едут примерно с одной скоростью, взлетают примерно на одних и тех же местах, падают, выбивая ямки тоже одинаково». Данный вариант также является ошибочным.

После проведенных продолжительных наблюдений за процессом образования «гребенки» а также экспериментальных исследований было установлено следующее [3, 4]:

1. «Гребенка» образуется в основном на дорогах с **покрытием из различного гранулированного материала**, таких как щебень, гравий, песок, их смеси и т.д., **без использования укреплений в виде органических и неорганических вяжущих**.

2. Образование «гребенки» можно наблюдать на участке, где присутствует **переход от покрытия капитального типа к покрытию переходного типа**, а также **на подъемах, спусках**, в местах **подхода к повороту**, непосредственно на нем самом и на выходе из него.

3. Если поворот построен в виде виража, то **образование неровности происходит ближе к низу поперечного профиля поворота**.

4. На гравийных дорогах «гребенка» образуется на участках, где возможно развить **скорость движения автомобилей выше 20 км/ч**.

5. «Гребенка» образуется в весенне-осенне-летний период как на сухом покрытии, так и на влажном, причем **при большой интенсивности движения с одновременным выпадением осадков в виде дождя**, «гребенка» образуется намного быстрее (1–3 суток), чем при тех же условиях, но без осадков (15–20 суток).

7. Формирование **«синусоидального профиля»** обеспечивается колебательным характером работы подвески автомобилей при взаимодействии колеса с покрытием грунтовой автомобильной дороги.

Проанализировав представленные замечания, можно выделить основные критерии, оказывающие влияние на формирование профиля типа «гребенка»:

- скорость движения автомобилей;
- интенсивность движения;
- материал покрытия грунтовой автомобильной дороги и его характеристики;

- климатические условия;
- масса автомобиля;
- тип и характеристики подвески автомобиля.

Математическая модель образования неровности типа «гребенка»

Для лучшего понимания процесса образования «гребенки» будем использовать следующие термины, представленные на рис. 1.

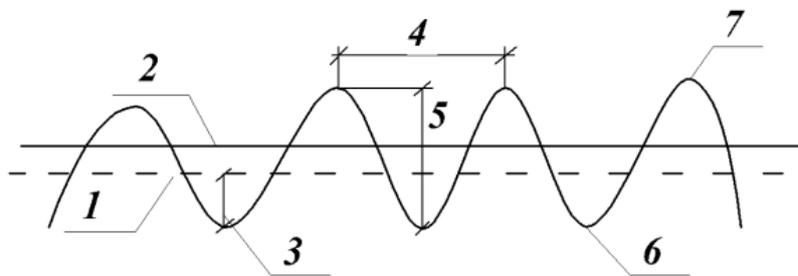


Рис. 1. Элементы гребенки: 1 – средняя линия гребенки; 2 – поверхность дороги; 3 – амплитуда гребенки; 4 – шаг гребенки; 5 – размах гребенки; 6 – минимум гребня; 7 – максимум гребня

В Белорусской государственной сельскохозяйственной академии при изучении причин образования «гребенки» предположили, что одной из таких причин может быть резонанс колебаний системы колеса автомобиля и колебаний поверхности дорожного покрытия определенной влажности, вызываемое вышеуказанной системой. В результате исследования получилась упрощенная и значительно идеализированная зависимость между колебаниями колеса автомобиля и возмущениями дорожного покрытия в виде поперечной упругой волны:

$$\frac{S}{\lambda} = \frac{2\pi mV}{T \sqrt{\frac{kg}{G_k} - h^2} \sqrt{\frac{G_n}{\rho}}},$$

где S – расстояние, которое пройдет колесо за промежуток времени, кратный одному периоду колебаний; λ – длина волны, которая образуется

при повышенной влажности гравийного покрытия после удара колеса по его поверхности; m – количество волн; V – скорость движения автомобиля; T – период колебания волны; k – коэффициент жесткости пружины; g – ускорение свободного падения; G_k – вертикальная сила, действующая на колесо; h – коэффициент затухания; G_n – модуль сдвига материала покрытия; ρ – плотность материала покрытия в недеформированном состоянии.

В данной работе в качестве основы для расчетов была принята математическая модель [3], которая предполагает, что существует некоторая ровная поверхность грунтовой автомобильной дороги в направлении x , причем реальное положение профиля соответствует значению $H(x, t)$. По этой дороге двигаются автомобили массой M со скоростью V , ходовая часть которых состоит из рессор с собственной частотой ω_0 и амортизаторов с коэффициентом демпфирования b . Пусть Z – высота до рамы проезжающих машин относительно ровной поверхности, причем $H - Z + (g/\omega_0^2)$ – это величина, на которую пружины сжимаются (рис. 2).

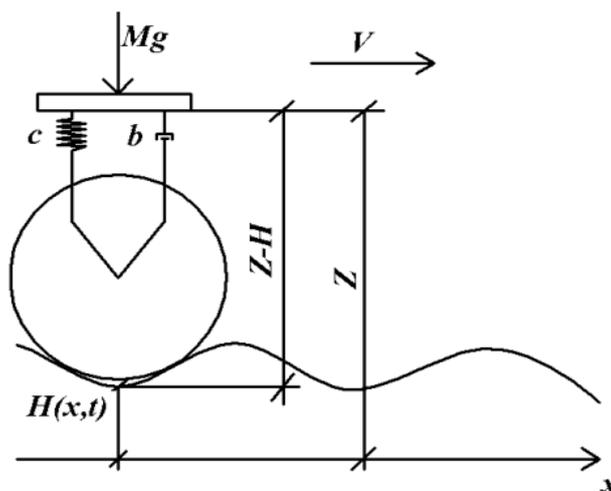


Рис. 2. Элементы рассматриваемой модели

В представленной модели стабильность плоскости покрытия проанализирована следующим способом: если есть любая волна номер k ,

для которой линейная скорость роста имеет положительное направление, то амплитуда растет во времени при неустойчивой горизонтальной поверхности. Комплексная часть роста жесткости пружины дает информацию о том, что волнообразование движется по направлению x , т.е. увеличивается и уменьшается. Для наиболее быстро растущей волны определяем ее длину по формуле:

$$T = VT_p(1 + \Gamma - \Gamma^2)^{1/2},$$

где V – скорость движения автомобиля (м/с); T_p – период собственных колебаний.

В качестве расчетного легкового автомобиля был выбран автомобиль «KIA» Sorento. Исходные данные:

- M – нагрузка на покрытие от колеса, кН; $M = 4,6$ кН;
- V – скорость движения автомобиля, м/с; $V = 40$ км/ч;
- g – ускорение свободного падения, м/с²; $g = 9,81$ м/с²;
- a – коэффициент пропорциональности уплотнения грунта, определяется экспериментально; $a = 0,99$;
- b – коэффициент демпфирования амортизатора, Нс/м; $b = 470$ Нс/м;
- C – жесткость рессор (пружин), Н/м; $C = 25000$ Н/м.

Находим собственную частоту рессоры:

$$\omega_0 = \sqrt{\frac{C}{M}} = 73,7 \frac{1}{\text{с}}.$$

Находим период колебаний автомобильной рессоры:

$$T_p = \frac{2\pi}{\omega_0} = 0,08 \text{ с.}$$

Находим значение безразмерного параметра:

$$\Gamma = \frac{b}{M\omega_0} = 1,38.$$

Находим шаг гребенки:

$$T = VT_p(1 + \Gamma - \Gamma^2)^{1/2} = 0,6 \text{ м,}$$

что близко к экспериментально наблюдаемому.

Выводы

Подводя итоги, можно отметить, что образование неровностей дорожного покрытия типа «гребенка» практически неизбежно на дорогах с грунтовым и гравийном покрытии, особенно в дождливую погоду. Поэтому можно выделить два способа борьбы с данной проблемой: регулярно устранять неизбежно возникающую «гребёнку» выравниванием дорожной поверхности или сразу делать дороги с твёрдым/пластичным покрытием, чтобы «гребёнка» не возникала вовсе (не использовать «ремонт подсыпкой»).

В заключение приведем некоторые рекомендации для водителей, вынужденных передвигаться по дороге с «гребенкой» [5]. Большинство людей, попадая на «гребенку», сбрасывают скорость, стараясь избежать сильной детонации но, к сожалению, этим только лишь усугубляют эффект «стиральной доски» и еще больше портят дорогу. Шины, при этом, еще более продавливают мягкие участки «гребенки» и еще больше нагребают грунт на «гребни», делая их выше и толще. Увеличение скорости, при этом, всего лишь увеличивает «длину волны».

Итак, что рекомендуется делать:

1. Спустите шины: более мягкие шины обеспечат вам большее пятно контакта и сцепление с дорогой, а так же возьмут на себя часть ударной нагрузки и выступят в роли некоего демпфера.
2. Переведите селектор раздатки в положение 4WDH: это позволит вам бороться с продольным и боковыми скольжениями и сохранить контроль над автомобилем.

3. Вспоминайте навыки вождения по льду и снегу, «гребенка» обладает весьма сходным эффектом.

4. Отключите АБС: обычные тормоза работают гораздо лучше на слабых грунтах.

Список литературы

1. Статистика по трассам. – URL: <https://autostrada.info/ru> (дата обращения: 10.11.2018).

2. Откорректированная информация по форме федерального статистического наблюдения № 1-ДГ «Сведения об автомобильных дорогах общего пользования и сооружениях на них федерального, регионального или межмуниципального значения» на 1 января 2015 года. – URL: <http://www.rosavtodor.ru/about/upravlenie-fda/finansovo-ekonomicheskoe-upravlenie/statisticheskaya-otchetnost/14440> (дата обращения: 29.10.2018).

3. Степанова, А.В. Совершенствование методов оценки эксплуатационной надёжности лесовозных автомобильных дорог: дис. ... канд. тех. наук / А.В. Степанова. – Петрозаводск, 2015.

4. «Почему появляется гребёнка на насыпной дороге?» – URL: <http://timmsagd.blogspot.com/2010/11/blog-post.html> (дата обращения: 27.11.2018).

5. Тренер по офф-роуду Тим Сиверин «*Trail Tips: What Causes Washboard Roads?*» – URL: <https://www.drive2.ru/c/347834/> (дата обращения: 21.11.2018).

References

1. URL: <https://autostrada.info/ru>

2. URL: <http://www.rosavtodor.ru/about/upravlenie-fda/finansovo-ekonomicheskoe-upravlenie/statisticheskaya-otchetnost/14440>

3. Stepanova A.V. *Sovershenstvovanie metodov ocenki ehkspluatacionnoj nadyozhnosti lesovoznyh avtomobil'nyh dorog* (Improvement of methods for assessing the operational reliability of logging roads), Candidate thesis, Petrozavodsk, 2015.

4. URL: <http://timmsagd.blogspot.com/2010/11/blog-post.html>

5. URL: <https://www.drive2.ru/c/347834/>