

ИССЛЕДОВАНИЕ ВЫНУЖДЕННЫХ ЧАСТОТ ГРУЗОВОГО АВТОТРАНСПОРТА.

Иманалиев Тариэл Омоович ст.преп. каф. «Механика» КГУСТА им. Н. Исанова 720040, Кыргызстан, Бишкек г., Малдыбаева улица, 34-Б, e-mail: imanaliev.tariel@mail.ru

Аннотация. В данной статье рассматриваются вынужденные колебания автотранспорта, кинематическим возбуждением.

Ключевые слова: динамика, вынужденная частота, подвеска автомобиля.

STUDY OF FORCED FREQUENCIES OF CARGO VEHICLES.

Imanaliev Tariel Omorovich, KGUSTA named after N. Isanov Kyrgyzstan, 720040, c.Bishkek, st. Malybaeva 34-a, e-mail: imanaliev.tariel@mail.ru

Abstract. In this article, we consider the forced oscillations of vehicles, kinematic excitation.

Keywords: Dynamics, forced frequency, car suspension.

Введение. При движении по неровностям дороги автомобиль может совершать не только свободные, но и вынужденные колебания.

Вынужденными называются колебания, совершаемые автомобилем вследствие действия периодической возмущающей силы, обусловленной волнистой поверхностью дороги.

Для динамической системы (рис. 1) при наличии в ней сопротивления (трения) уравнение вынужденных колебаний имеет вид

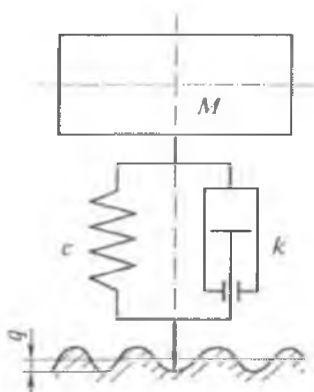


Рис. 1 Возбуждение вынужденных колебаний автомобиля

$$M\ddot{z} + k\dot{z} + cz = q(t) \quad \text{или} \quad \ddot{z} + h_{II}\dot{z} + \omega^2 z = \frac{q(t)}{M},$$

где $q(t)$ — возмущающая сила, действующая на систему.

Вынужденные колебания автомобиля, происходящие при его движении по волнистой поверхности дороги, зависят от частоты возмущающей силы (чередования неровностей), c^{-1} :

$$\rho = \frac{2\pi v}{3,6l_d},$$

где v — скорость автомобиля, км/ч; l_d — длина неровностей дороги, м.

В условиях эксплуатации частота возмущающей силы не остается постоянной, так как возможны различные сочетания скорости движения автомобиля и длины неровностей.

Наиболее полное представление о вынужденных колебаниях автомобиля при различных значениях частоты возмущающей силы дает его амплитудно-частотная характеристика. Она включает в себя зависимости перемещений кузова и колес, а также ускорений кузова автомобиля от частоты возмущающей силы.

На рис. 2 представлена амплитудно-частотная характеристика автомобиля. По оси ординат амплитудно-частотной характеристики отложены отношения перемещений кузова z , перемещений колес ζ и ускорений кузова \ddot{z} к высоте дорожных неровностей q , а по оси абсцисс — частота возмущающей силы. Для связи амплитуд колебаний со скоростью движения автомобиля и длиной дорожных неровностей в нижней части амплитудно-частотной характеристики приведены зависимости, отражающие связь между частотой ρ возмущающей силы, длиной неровностей дороги l_d и скоростью автомобиля v .

Амплитудно-частотная характеристика автомобиля включает в себя пять областей: дорезонансную, область низкочастотного резонанса, межрезонансную, область высокочастотного резонанса и зарезонансную. Рассмотрим особенности этих областей.

Дорезонансная область соответствует малой скорости движения автомобиля и большой длине дорожных неровностей. Для нее характерно то, что кузов и колеса автомобиля копируют профиль дороги. При этом перемещения кузова и колес незначительны, а ускорения кузова небольшие.

Область низкочастотного резонанса характеризуется возрастанием перемещений кузова по сравнению с высотой дорожных неровностей. Подвеска усиливает колебания кузова, вследствие чего возрастают

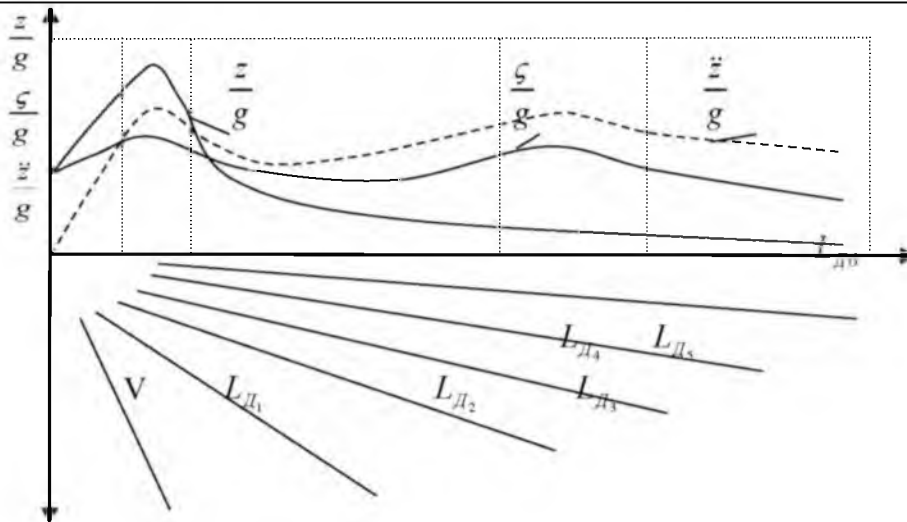


Рис. 2. Амплитудно-частотная характеристика автомобиля: [1]

1 — дорезонансная область; 2 — область низкочастотного резонанса; 3 — межрезонансная область; 4 — область высокочастотного резонанса; 5 — зарезонансная область;
 $l_{д1}$ — $l_{д8}$ — значения длины неровностей дороги.

его перемещения и ускорения. Колебания кузова вызывают увеличение амплитуды колебаний колес. В области низкочастотного резонанса происходят колебания автомобиля с частотой $80... 100 \text{ мин}^{-1}$.

Межрезонансная область характеризуется уменьшением колебаний кузова и колес, а также снижением ускорений кузова по сравнению с областью низкочастотного резонанса.

Для области высокочастотного резонанса характерны незначительные перемещения кузова и большие его ускорения, обусловленные значительными перемещениями колес.

В широкой области высокочастотного резонанса кузов колеблется так, что почти не происходит его перемещения, хотя он находится под действием больших ускорений. В области высокочастотного резонанса автомобиль совершает колебания с частотой $400... 500 \text{ мин}^{-1}$.

Зарезонансная область характеризуется тем, что в ней происходит уменьшение перемещений и ускорений кузова, а также перемещений колес по сравнению с областью высокочастотного резонанса, причем эта область смыкается с областью вибраций.

Из амплитудно-частотной характеристики видно, что в областях низкочастотного и высокочастотного резонансов можно установить определенные соотношения между перемещениями кузова, колес и ускорениями. Эти соотношения неодинаковы для различных автомобилей и зависят от их параметров.

Упругая характеристика подвески представляет собой зависимость вертикальной нагрузки R_z на колесо от деформации подвески f , измеренной непосредственно над осью колеса. Подвеска характеризуется статическим прогибом f_{cm} , динамическим прогибом f_o и коэффициентом динамичности $K_o = R_{zmax} / R_{zcm}$ ($K_o = 1,75... 2,5$). [2]

Динамический прогиб по отношению к статическому для легковых автомобилей составляет $f_o = 0,5 f_{cm}$, для автобусов $f_o = 0,75 f_{cm}$, а для грузовых автомобилей $f_o = f_{cm}$. В упругую характеристику подвески включен буфер отбоя, снижающий ход подвески.

Пневматические шины могут быть условно включены в подвеску, поскольку влияют на ее основные характеристики — жесткость и степень демпфирования. В соответствии с экспериментальными данными дорожных испытаний автомобиля на изношенных грунтовых дорогах давление в шинах передних P1 и задних P2 колес лежит

в пределах $P = 1-2$ кгс/см², причем всегда $P_1 > P_2$. Анализ результатов стендовых испытаний шины ОИ25, используемой на автомобиле, показал, что при изменении давления в пределах $P = 1-2$ кгс/см² ее силовая характеристика практически линейна и жесткость при различных давлениях может быть определена по формуле $C_{ш} = 330 + 240 (P_1)$, где P – давление в шине.

Оценка влияния жесткости шины $C_{ш}$ проводилась, приняв величину внутреннего давления в передних шинах: $P_1 = 1,5$ кгс/см² ($C_{ш2} = 450$ кгс/см), $C_{р1} = 230$ кгс/см, $C_{р2} = 190$ кгс/см, $\psi_{01} = \psi_{02} = 0,3$. При этом варьировалось внутреннее давление в задних шинах: $P_2 = 1,0$ кгс/см² ($C_{ш2} = 330$ кгс/см); $P_2 = 1,2$ кгс/см² ($C_{ш2} = 380$ кгс/см); $C_2 = 1,5$ кгс/см² ($C_{ш2} = 450$ кгс/см). [3]

При движении по неровностям дороги шины оказывают незначительное влияние на низкочастотные колебания (колебания кузова) вследствие того, что они деформируются меньше, чем подвеска. Однако шины существенно влияют на высокочастотные колебания автомобиля, так как при снижении их жесткости уменьшаются вертикальные перемещения колес и ускорения кузова.

Более эластичные шины улучшают плавность хода автомобиля. С этой целью в них снижают давление воздуха и увеличивают ширину их профиля. Так, например, на легковых автомобилях применяют шины низкого давления, низкопрофильные и сверхнизкопрофильные. Такие шины кроме плавности хода повышают устойчивость и безопасность движения автомобиля.

Техническое состояние подвески. Ухудшение плавности хода автомобиля может быть значительным при неудовлетворительном техническом состоянии подвески. Так, при недостаточной смазке рессор между их листами возникает сухое трение, увеличивающее частоту колебаний кузова.

Сухое трение может блокировать (выключать) подвеску, вследствие чего кузов автомобиля при переезде дорожных неровностей будет испытывать резкие толчки и удары. Аналогичное явление происходит при повышении сопротивления гидравлических амортизаторов, заправленных маслом с большой вязкостью.

При утечке амортизаторной жидкости эффективного гашения колебаний кузова не происходит. Они затухают медленно, а кузов долго раскачивается на упругих устройствах подвески после проезда неровностей дороги. При неисправных амортизаторах на дороге с большим числом неровностей колеса автомобиля могут даже отрываться от дороги и терять постоянный контакт с ее поверхностью. В результате ухудшается не только плавность хода, но и управляемость, устойчивость автомобиля и, следовательно, безопасность движения.

Масса перевозимого груза. С изменением массы перевозимого груза меняются подрессоренная масса автомобиля, положение ее центра тяжести, нагрузка на передние и задние колеса и деформация упругих устройств подвески.

Особенно сильное влияние нагрузки на плавность хода наблюдается у грузовых автомобилей. Нагрузка, приходящаяся на их задние колеса, может изменяться в несколько раз, тогда как на передних колесах она остается почти постоянной. При увеличении нагрузки на задние колеса уменьшается парциальная частота колебаний задней подвески, а парциальная частота колебаний передней подвески практически не меняется. В результате большая разница в парциальных частотах передней и задней подвесок ухудшает плавность хода автомобиля.

Системы с одной степенью свободы при отсутствии трения

Кинематическое возбуждение колебаний.

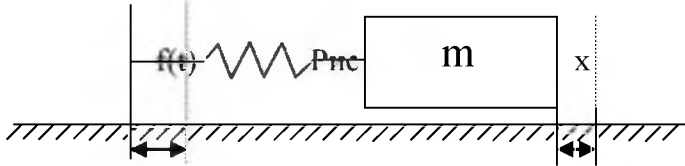
К такому же стандартному уравнению можно привести задачу о вынужденных колебаниях, вызываемых силовым возбуждением и кинематическим способом. Рассмотрим вновь одну массовую систему, но предположим, что причиной колебаний груза m являются колебания точки крепления пружины (рис. 1). Пусть закон движения этой точки задан в виде $f = f(t)$. Удлинение пружины в текущий момент времени равно $x - f$, а на груз действует сила

упругости пружины - $C(x - f)$, и дифференциальное уравнение движения

$$m \times \ddot{x} + C \times (x - f) = 0 \text{ или } \ddot{x} + \omega^2 \times x = \frac{C \times f(t)}{m}$$

Произведение $Cf(t)$ можно считать приведенной возмущающей силой $F(t)$ при силовом возбуждении, и тогда уравнение движения принимает стандартный вид.

$$\ddot{x} + \omega^2 \times x = \frac{F(t)}{m} \quad (1)$$



Формула расчета амплитуды колебаний [4]

$$A = \frac{f_{cm}}{\left|1 - \left(\frac{p}{\omega}\right)^2\right|} = \frac{f_{cm}}{\left|1 - \frac{\pi^2 \rho^2 m}{l^2 C}\right|}$$

Подставляя данные занесем в таблицу 1.

Таблица 1 [5]

Исходные данные и результаты расчетов

Расч. данные	$f_{\max(\text{п})}$ (см)	$f_{\max(\text{з})}$ (см)	ω_1 (Гц)	ω_2 (Гц)	ρ_1 крит КМ/ч	l_1 крит см	ρ_2 крит КМ/ч	l_2 крит см
КАМАЗ 6511	-13,27	-6,62	11,42	7,66	37-42	8-13	45-50	15-25
КАМАЗ 5321	-9,28	-4,89	13,43	7,14	45-53	10-15	40-50	18-23
КАМАЗ 5511	-14,59	-6,07	11,74	7,75	47-53	12-17	47-53	18-23
УРАЛ 55571	-14,99	-8,67	10,14	6,17	47-53	12-17	47-53	12-17
КРАЗ 256Б1	-13,9	-8,48	10,25	4,09	47-53	12-17	33-37	23-27
ХОВО А7	-15,36	-4,37	13,56	7,00	47-53	10-12	47-53	20-24

Вывод: 1. Из расчетов видно предполагая совпадении вынужденных и собственных частот определим критическую скорость движения в пределах 33-53км/ч при критической длине неровностей дороги, она колеблится в пределах 8-27см.

2. Таким образом из расчетов видно совпадение вынужденных и собственных частот при коротких длинах неровностей дороги в области низкочастотного резонанса как и в графике рис.2.

Список литературы

1. Богатырев А.В., Есеновский- Лашков Ю.К., Насановский М.Л. Чернышев В.А. Автомобили-М.: Колос, 2001г.
2. Вахламов В. К. Эксплуатационные свойства автомобилей: Учебник для студ. высш. учеб. заведений. –М.: «Академия», 2005г.-240с.
3. Дубровский А.Ф. и др.Выбор параметров подвески грузовых автомобилей «Урал». 72 ВЕСТНИК ОГУ №10 (171)/октябрь`2014.
4. [www.email: Karimov@rambler.ru](mailto:Karimov@rambler.ru)
5. Кутуев М.Д., Токтогонов А.Т.,Иманалиев Т.О. Исследование собственных частот грузового автотранспорта. Статья вестник КГУСТА.

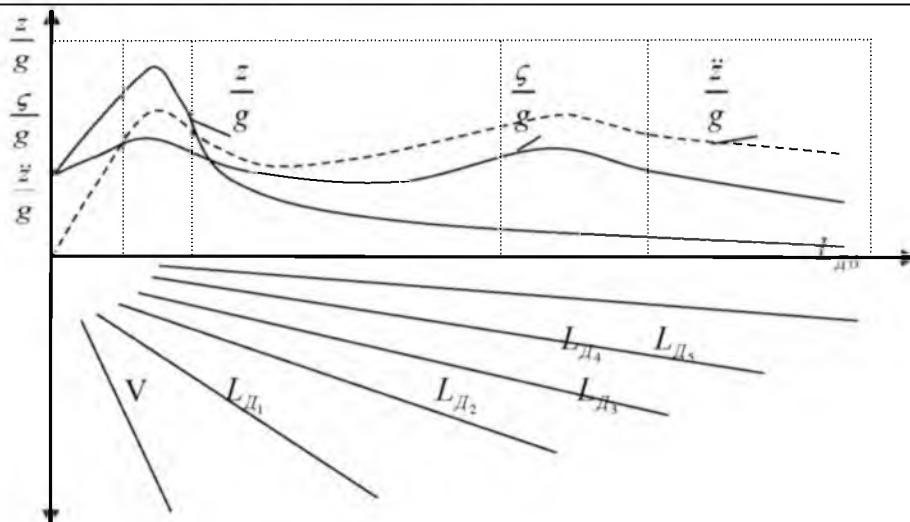


Рис. 2. Амплитудно-частотная характеристика автомобиля: [1]

1 — дорезонансная область; 2 — область низкочастотного резонанса; 3 — межрезонансная область; 4 — область высокочастотного резонанса; 5 — зарезонансная область; $l_{д1} — l_{д8}$ — значения длины неровностей дороги.

его перемещения и ускорения. Колебания кузова вызывают увеличение амплитуды колебаний колес. В области низкочастотного резонанса происходят колебания автомобиля с частотой $80... 100 \text{ мин}^{-1}$.

Межрезонансная область характеризуется уменьшением колебаний кузова и колес, а также снижением ускорений кузова по сравнению с областью низкочастотного резонанса.

Для области высокочастотного резонанса характерны незначительные перемещения кузова и большие его ускорения, обусловленные значительными перемещениями колес.

В широкой области высокочастотного резонанса кузов колеблется так, что почти не происходит его перемещения, хотя он находится под действием больших ускорений. В области высокочастотного резонанса автомобиль совершает колебания с частотой $400... 500 \text{ мин}^{-1}$.

Зарезонансная область характеризуется тем, что в ней происходит уменьшение перемещений и ускорений кузова, а также перемещений колес по сравнению с областью высокочастотного резонанса, причем эта область смыкается с областью вибраций.

Из амплитудно-частотной характеристики видно, что в областях низкочастотного и высокочастотного резонансов можно установить определенные соотношения между перемещениями кузова, колес и ускорениями. Эти соотношения неодинаковы для различных автомобилей и зависят от их параметров. .

Упругая характеристика подвески представляет собой зависимость вертикальной нагрузки R_z на колесо от деформации подвески f , измеренной непосредственно над осью колеса. Подвеска характеризуется статическим прогибом f_{cm} , динамическим прогибом f_o и коэффициентом динамичности $K_o = R_{zmax} / R_{zcm}$ ($K_o = 1,75..2,5$). [2]

Динамический прогиб по отношению к статическому для легковых автомобилей составляет $f_o = 0,5 f_{cm}$, для автобусов $f_o = 0,75 f_{cm}$, а для грузовых автомобилей $f_o = f_{cm}$. В упругую характеристику подвески включен буфер отбоя, снижающий ход подвески.

Пневматические шины могут быть условно включены в подвеску, поскольку влияют на ее основные характеристики – жесткость и степень демпфирования. В соответствии с экспериментальными данными дорожных испытаний автомобиля на изношенных грунтовых дорогах давление в шинах передних P1 и задних P2 колес лежит

в пределах $P = 1-2$ кгс/см², причем всегда $P_1 > P_2$. Анализ результатов стендовых испытаний шины ОИ25, используемой на автомобиле, показал, что при изменении давления в пределах $P = 1-2$ кгс/см² ее силовая характеристика практически линейна и жесткость при различных давлениях может быть определена по формуле $C_{ш} = 330 + 240(P_1)$, где P – давление в шине.

Оценка влияния жесткости шины $C_{ш}$ проводилась, приняв величину внутреннего давления в передних шинах: $P_1 = 1,5$ кгс/см² ($C_{ш2} = 450$ кгс/см), $C_{р1} = 230$ кгс/см, $C_{р2} = 190$ кгс/см, $\psi_{01} = \psi_{02} = 0,3$. При этом варьировалось внутреннее давление в задних шинах: $P_2 = 1,0$ кгс/см² ($C_{ш2} = 330$ кгс/см); $P_2 = 1,2$ кгс/см² ($C_{ш2} = 380$ кгс/см); $C_2 = 1,5$ кгс/см² ($C_{ш2} = 450$ кгс/см). [3]

При движении по неровностям дороги шины оказывают незначительное влияние на низкочастотные колебания (колебания кузова) вследствие того, что они деформируются меньше, чем подвеска. Однако шины существенно влияют на высокочастотные колебания автомобиля, так как при снижении их жесткости уменьшаются вертикальные перемещения колес и ускорения кузова.

Более эластичные шины улучшают плавность хода автомобиля. С этой целью в них снижают давление воздуха и увеличивают ширину их профиля. Так, например, на легковых автомобилях применяют шины низкого давления, низкопрофильные и сверхнизкопрофильные. Такие шины кроме плавности хода повышают устойчивость и безопасность движения автомобиля.

Техническое состояние подвески. Ухудшение плавности хода автомобиля может быть значительным при неудовлетворительном техническом состоянии подвески. Так, при недостаточной смазке рессор между их листами возникает сухое трение, увеличивающее частоту колебаний кузова.

Сухое трение может блокировать (выключать) подвеску, вследствие чего кузов автомобиля при переезде дорожных неровностей будет испытывать резкие толчки и удары. Аналогичное явление происходит при повышении сопротивления гидравлических амортизаторов, заправленных маслом с большой вязкостью.

При утечке амортизаторной жидкости эффективного гашения колебаний кузова не происходит. Они затухают медленно, а кузов долго раскачивается на упругих устройствах подвески после проезда неровностей дороги. При неисправных амортизаторах на дороге с большим числом неровностей колеса автомобиля могут даже отрываться от дороги и терять постоянный контакт с ее поверхностью. В результате ухудшается не только плавность хода, но и управляемость, устойчивость автомобиля и, следовательно, безопасность движения.

Масса перевозимого груза. С изменением массы перевозимого груза меняются подрессоренная масса автомобиля, положение ее центра тяжести, нагрузка на передние и задние колеса и деформация упругих устройств подвески.

Особенно сильное влияние нагрузки на плавность хода наблюдается у грузовых автомобилей. Нагрузка, приходящаяся на их задние колеса, может изменяться в несколько раз, тогда как на передних колесах она остается почти постоянной. При увеличении нагрузки на задние колеса уменьшается парциальная частота колебаний задней подвески, а парциальная частота колебаний передней подвески практически не меняется. В результате большая разница в парциальных частотах передней и задней подвесок ухудшает плавность хода автомобиля.

Системы с одной степенью свободы при отсутствии трения

Кинематическое возбуждение колебаний.

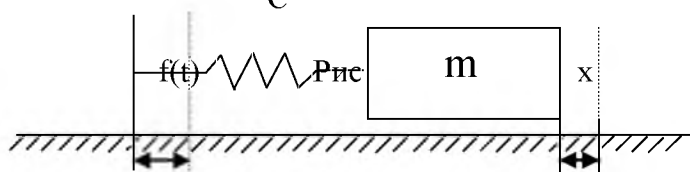
К такому же стандартному уравнению можно привести задачу о вынужденных колебаниях, вызываемых силовым возбуждением и кинематическим способом. Рассмотрим вновь одну массовую систему, но предположим, что причиной колебаний груза m являются колебания точки крепления пружины (рис. 1). Пусть закон движения этой точки задан в виде

$f = f(t)$. Удлинение пружины в текущий момент времени равно $x - f$, а на груз действует сила упругости пружины - $C(x - f)$, и дифференциальное уравнение движения

$$m \times \ddot{x} + C \times (x - f) = 0 \text{ или } \ddot{x} + \omega^2 \times x = \frac{C \times f(t)}{m}$$

Произведение $Cf(t)$ можно считать приведенной возмущающей силой $F(t)$ при силовом возбуждении, и тогда уравнение движения принимает стандартный вид.

$$\ddot{x} + \omega^2 \times x = \frac{F(t)}{m} \quad (1)$$



Формула расчета амплитуды колебаний [4]

$$A = \frac{f_{cm}}{\left|1 - \left(\frac{p}{\omega}\right)^2\right|} = \frac{f_{cm}}{\left|1 - \frac{\pi^2 g^2 m}{l^2 C}\right|}$$

Подставляя данные занесем в таблицу 1.

Таблица 1 [5]

Исходные данные и результаты расчетов

Расч. данные	$f_{\max(\Pi)}$ (см)	$f_{\max(\varepsilon)}$ (см)	ω_1 (Гц)	ω_2 (Гц)	\mathcal{G} крит Км/ч	l_1 крит см	\mathcal{G}_2 крит Км/ч	l_2 крит см
КАМАЗ 6511	-13,27	-6,62	11,42	7,66	37-42	8-13	45-50	15-25
КАМАЗ 5321	-9,28	-4,89	13,43	7,14	45-53	10-15	40-50	18-23
КАМАЗ 5511	-14,59	-6,07	11,74	7,75	47-53	12-17	47-53	18-23
УРАЛ 55571	-14,99	-8,67	10,14	6,17	47-53	12-17	47-53	12-17
КРАЗ 256Б1	-13,9	-8,48	10,25	4,09	47-53	12-17	33-37	23-27
ХОВО А7	-15,36	-4,37	13,56	7,00	47-53	10-12	47-53	20-24

Вывод: 1. Из расчетов видно предполагая совпадении вынужденных и собственных частот определим критическую скорость движения в пределах 33-53км/ч при критической длине неровностей дороги, она колеблится в пределах 8-27см.

2. Таким образом из расчетов видно совпадение вынужденных и собственных частот при коротких длинах неровностей дороги в области низкочастотного резонанса как и в графике рис.2.

Список литературы

1. Богатырев А.В., Есеновский- Лашков Ю.К., Насановский М.Л. Чернышев В.А. Автомобили-М.: Колос, 2001г.
2. Вахламов В. К. Эксплуатационные свойства автомобилей: Учебник для студ. высш. учеб. заведений. –М.: «Академия», 2005г.-240с.
3. Дубровский А.Ф. и др. Выбор параметров подвески грузовых автомобилей «Урал». 72 ВЕСТНИК ОГУ №10 (171)/октябрь`2014.
4. www.email: Karimov@rambler.ru
5. Кутуев М.Д., Токтогонов А.Т., Иманалиев Т.О. Исследование собственных частот грузового автотранспорта. Статья вестник КГУСТА.