УДК 625.7.03:531.1

ОБ ОЦЕНКЕ КОЭФФИЦИЕНТА ДИНАМИЧНОСТИ

Канд. техн. наук **Н.А Лушников**,
канд. техн. наук **П.А. Лушников**,
инженер **А.Б. Волков**
(ФАУ «РОСДОРНИИ»),
инженер **А.О. Абулкасимов**,
инженер **Д.И. Кондрашин**
(Московский государственный университет
путей сообщения (МИИТ))
Конт. информация: p.lushnikov@rosdornii.ru;
lab@rosdornii.ru

В статье приведены результаты расчетов коэффициента динамичности, полученные с использованием двухмассовой механической модели автомобиля. Рассмотрены зависимости коэффициента динамичности от загруженности и скорости движения автомобиля на выбранном участке дороги.

***Ключевые слова**: коэффициент динамичности, механическая модель автомобиля, двухмассовая модель, уравнения движения модели.*

Для учета взаимодействия движущегося транспортного средства и автомобильной дороги может быть использован коэффициент динамичности **[1,2]**:

$$K_d = \frac{P_d}{P_s} \quad , \qquad \textbf{(1)}$$

где

P_d – давление колеса на дорогу при движении автомобиля;

P_s – статическое давление колеса автомобиля.

Вопросы, связанные с коэффициентом динамичности, исследовались многими авторами (см. не претендующий на полноту список литературы). При этом использовались различные подходы: общие теоретические и экспериментальные методы **[1-6]**, применение уравнений движения механических моделей автомобиля **[7-8]**, спектральная теория

колебаний автомобиля **[9-10]** и др. В рассматриваемой работе используется подход, предложенный в **[8]**, с несколько упрощенной моделью автомобиля. Принято, что поверхность дорожного покрытия при движении модели не деформируется. Далее рассматривается формула, вытекающая из уравнений движения этой модели, и приводятся примеры ее применения для оценки коэффициента динамичности на выбранном участке дороги.

Рассмотрим механическую модель автомобиля, изображенную на **рис. 1**.

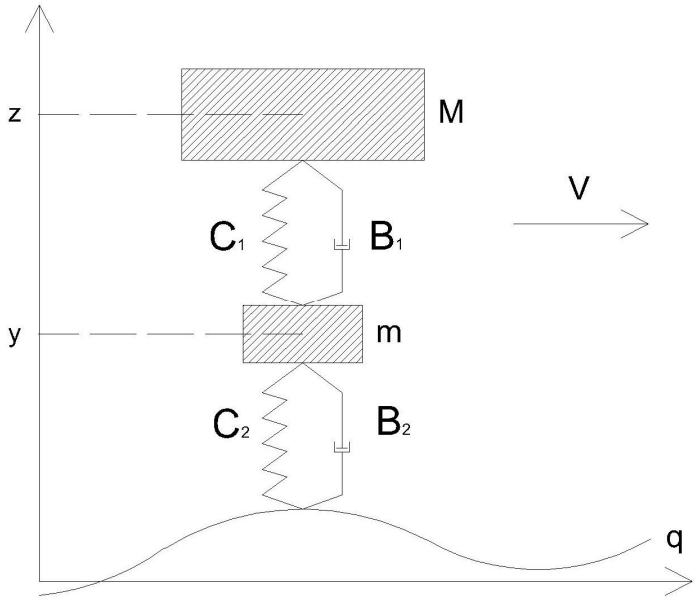

Рис. 1. Двухмассовая модель автомобиля, использованная для расчета коэффициента динамичности:

M – четверть подрессоренной массы автомобиля; m – масса колеса; C_1, C_2 – жесткости подвески и шины; B_1, B_2 – коэффициенты вязкости амортизатора подвески и шины; V – горизонтальная скорость движения автомобиля; z, y – вертикальные перемещения масс M и m; q – продольный микропрофиль поверхности покрытия

Принимая, что сила упругости пружины пропорциональна ее сжатию (закон Гука), а сила сопротивления амортизатора пропорциональна скорости перемещения его штока (закон Ньютона), получим уравнения движения модели в вертикальном направлении:

$$\begin{cases} M\ddot{z} + B_1(\dot{z} - \dot{y}) + C_1\Delta_{zy} - Mg = 0 \\ m\ddot{y} - B_1(\dot{z} - \dot{y}) - C_1\Delta_{zy} + C_2\Delta_{yq} + B_2(\dot{y} - \dot{q}) - mg = 0 \end{cases}, \quad \textbf{(2)}$$

где

Δ_{zy} – сжатие верхней пружины (подвески);

Δ_{yq} – сжатие нижней пружины (подвески).

Складывая уравнения **(2),** получим:

$$M\ddot{z} + m\ddot{y} - (M + m)g = -C_2\Delta_{yq} - B_2(\dot{y} - \dot{q}) = -F_d \quad ,$$

где

F_d – сила давления на покрытие дороги движущейся модели автомобиля.

Так как статическая сила давления $F_s = (M+m)g$, то:

$$K_d = \frac{P_d}{P_s} = \frac{F_d}{F_s} = \frac{(M+m)g - (M\ddot{z} + m\ddot{y})}{(M+m)g} = 1 - \frac{(M\ddot{z} + m\ddot{y})}{(M+m)g} \quad . \quad \textbf{(3)}$$

Таким образом, решая систему **(2)**, можно получить оценку коэффициента динамичности **(3)**. С другой стороны, ускорения и массы, входящие в выражение **(3)**, можно измерить экспериментально и сравнить полученное значение с теоретической оценкой. В формуле **(3)** предполагается, что $\ddot{z} \le g$, $\ddot{y} \le g$, так как в противном случае может произойти отрыв моделирующей колесо пружины от профиля дороги.

Для экспериментов использовался автомобиль Форд-Торнео. Значения коэффициентов, входящих в систему **(2),** для этого автомобиля были приняты следующими:

M=450 кг; m=30 кг; C_1=25 000 н/м; C_2=225 000 н/м; B_1=2200 кг/с; B_2=20 000 кг/с . **(4)**

На **рис. 2** приведены результаты сравнения коэффициентов динамичности, вычисленных по формуле **(3)**, с использованием расчетных и экспериментальных значений ускорений на колесе и кузове автомобиля на выбранном участке дороги. Средняя величина ошибки составляет около 5%, а максимальная – около 10%.

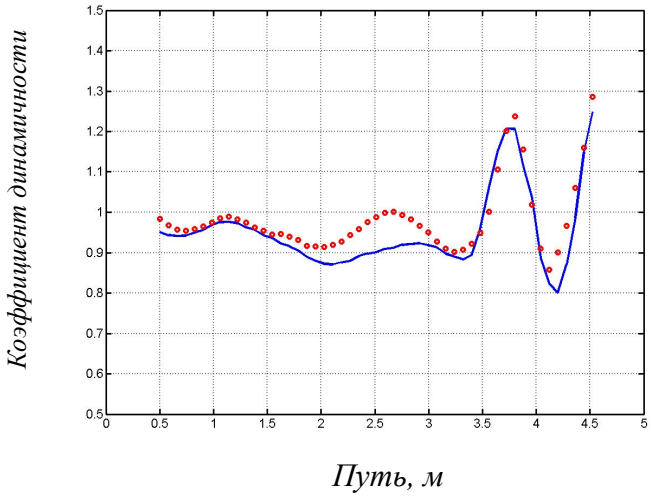

Рис. 2. Результаты сравнения коэффициентов динамичности, вычисленных с использованием расчетных (сплошная линия) и экспериментальных значений ускорений на колесе и кузове автомобиля:
скорость движения автомобиля – 60 км/ч

Используя модель **(2),** можно оценить влияние на коэффициент динамичности параметров **(4)**. В качестве иллюстрации на **рис. 3** показано изменение коэффициента динамичности при увеличении загрузки автомобиля, а на **рис. 4** – при увеличении скорости движения на выбранном участке дороги с показателем ровности IRI в диапазоне 3-5 м/км.

Для рассматриваемого автомобиля при увеличении его массы в 1,5 раза размах колебаний коэффициента динамичности уменьшается в среднем на 3 %, а максимальное его изменение составляет 9%.

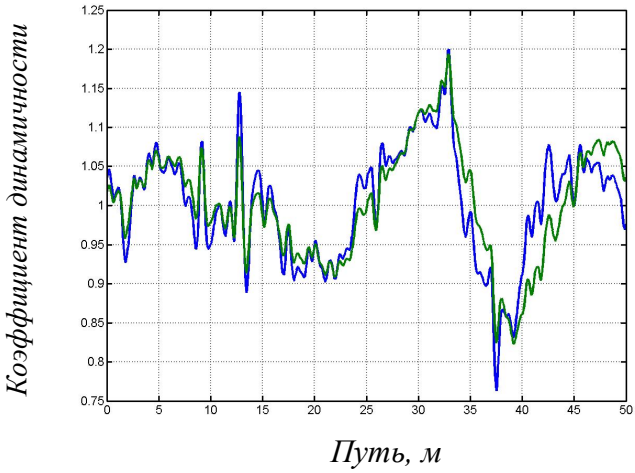

Рис. 3. Изменение коэффициента динамичности при увеличении загрузки автомобиля:
зеленая кривая – автомобиль с массой, увеличенной в 1,5 раза; скорость движения автомобиля – 60 км/ч

При увеличении скорости с 60 до 100 км/ч, размах колебаний коэффициента динамичности увеличивается, что отражено в **табл. 1**.

Таблица 1

Изменение коэффициента динамичности от скорости движения автомобиля

Изменение коэффициента динамичности, %	***Скорость движения автомобиля, км/ч***		
	60	***80***	***100***
Среднее	0	6	11
Максимальное	0	16	34

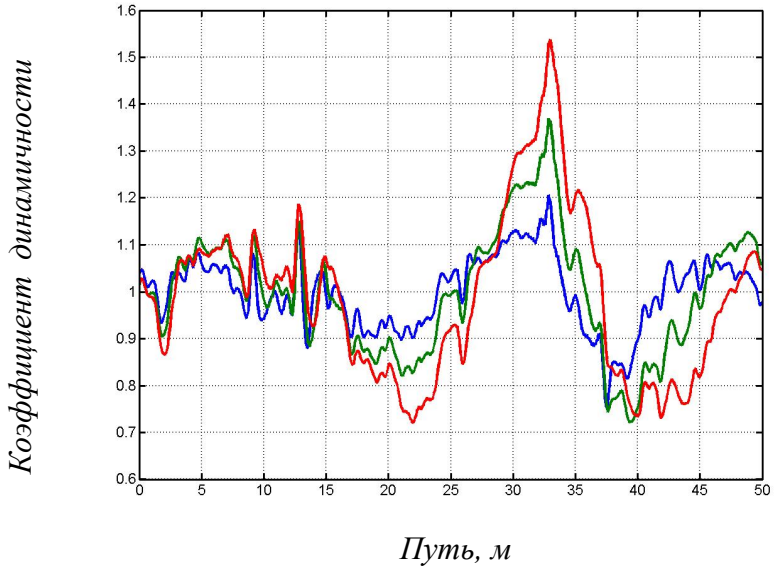

Рис. 4. Изменение коэффициента динамичности при увеличении скорости движения автомобиля:
синяя кривая – скорость движения – 60 км/ч;
зеленая – 80 км/ч; красная – 100 км/ч

ВЫВОДЫ

1. Используя полученную из уравнений движения двухмассовой модели автомобиля формулу **(3)**, можно оценить влияние на коэффициент динамичности параметров **(4)**.
2. Расчеты с использованием формулы **(3)** показывают, что при увеличении массы выбранного автомобиля в 1,5 раза коэффициент динамичности на экспериментальном участке дороги с показателем ровности IRI в диапазоне 3-5 м/км изменяется в среднем на 3% (максимальное изменение составляет 9%), а при увеличении скорости с 60 до 100 км/ч – в среднем на 11% (максимальное изменение составляет 34%).

ЛИТЕРАТУРА

1. *Конструирование и расчет нежестких дорожных одежд. Под ред. Н.Н. Иванова. – М.: Транспорт, 1973. – 326 с.*
2. *Смирнов А.В. Динамика дорожных одежд автомобильных дорог / Смирнов А.В. – Западно-Сибирское книжное издательство, 1975. – 184 с.*
3. *Бабков В.Ф. Обзор экспериментальных работ в США по установлению величины динамического коэффициента / В.Ф. Бабков // Труды ДОРНИИ. – 1941. – Вып. 3. – С. 319-331.*
4. *Корсунский М.Б. Оценка прочности дорог с нежесткими покрытиями / М.Б. Корсунский. – М.: Транспорт, 1966. – 151 с.*
5. *Радовский Б.С. Теоретические основы конструирования и расчета нежестких дорожных одежд на воздействие подвижных нагрузок. дисс... д-р техн. наук / Радовский Борис Самойлович. – Киев, 1982. – 535 с.*
6. *Теляев П.И. Учет динамического действия нагрузок при расчете дорожных одежд / П.И. Теляев // Труды СОЮЗДОРНИИ. – 1964. – Вып. 1. – С. 11-19.*
7. *Хачатуров А.А.. Динамика системы дорога-шина-автомобиль-водитель / А.А. Хачатуров, В.Л. Афанасьев, В.С. Васильев; под ред. А. А. Хачатурова. – М.: Машиностроение, 1976. – 535 с.*
8. *Теляев П.И. Обоснование значений динамического коэффициента к нагрузке применительно к расчету дорожных одежд / П.И. Теляев, Ю.И. Смирнов // Труды СОЮЗДОРНИИ. – 1979. – Вып. 114. – С. 19-27.*
9. *Силаев А.А. Спектральная теория подрессоривания транспортных машин / А.А. Силаев. – М., Машиностроение. – 1972. – 192 с.*
10. *Чернигов В.А. Влияние неровностей бетонных покрытий на величину коэффициента динамичности / В.А. Чернигов, Г.Г. Паронян // Вопросы повышения качества поверхности дорожных и аэродромных покрытий: сб. трудов СОЮЗДОРНИИ. – 1983. – С. 42-45.*

L I T E R A T U R A

1. *Konstruirovanie i raschet nezhestkih dorozhnyh odezhd. Pod red. N.N. Ivanova. – M.: Transport, 1973. – 326 s.*
2. *Smirnov A.V. Dinamika dorozhnyh odezhd avtomobil'nyh dorog / Smirnov A.V. – Zapadno-Sibirskoe knizhnoe izdatel'stvo, 1975. – 184 s.*
3. *Babkov V.F. Obzor jeksperimental'nyh rabot v SShA po ustanovleniju velichiny dinamicheskogo kojefficienta / V.F. Babkov // Trudy DORNII. – 1941. – Vyp. 3. – S. 319-331.*
4. *Korsunskij M.B. Ocenka prochnosti dorog s nezhestkimi pokrytijami / M.B. Korsunskij. – M.: Transport, 1966. – 151 s.*
5. *Radovskij B.S. Teoreticheskie osnovy konstruirovanija i rascheta nezhestkih dorozhnyh odezhd na vozdejstvie podvizhnyh nagruzok. diss... d-r tehn. nauk / Radovskij Boris Samojlovich. – Kiev, 1982. – 535 s.*
6. *Teljaev P.I. Uchet dinamicheskogo dejstvija nagruzok pri raschete dorozhnyh odezhd / P.I. Teljaev // Trudy SOJuZDORNII. – 1964. – Vyp. 1. – S. 11-19.*
7. *Hachaturov A.A.. Dinamika sistemy doroga-shina-avtomobil'-voditel' / A.A. Hachaturov, V.L. Afanas'ev, V.S. Vasil'ev; pod red. A.A. Hachaturova. – M.: Mashinostroenie, 1976. – 535 s.*
8. *Teljaev P.I. Obosnovanie znachenij dinamicheskogo kojefficienta k nagruzke primenitel'no k raschetu dorozhnyh odezhd / P.I. Teljaev, Ju.I. Smirnov // Trudy SOJuZDORNII. – 1979. – Vyp. 114. – S. 19-27.*
9. *Silaev A.A. Spektral'naja teorija podressorivanija transportnyh mashin / A.A. Silaev. – M., Mashinostroenie. – 1972. – 192 s.*
10. *Chernigov V.A. Vlijanie nerovnostej betonnyh pokrytij na velichinu kojefficienta dinamichnosti / V.A. Chernigov, G.G. Paronjan // Voprosy povyshenija kachestva poverhnosti dorozhnyh i ajerodromnyh pokrytij: sb. trudov SOJuZDORNII. – 1983. – S. 42-45.*

ABOUT DYNAMIC IMPACT FACTOR EVALUATION

Ph. D. (Tech.) ***N.A. Lushnikov,***
Ph. D. (Tech.) ***P.A. Lushnikov,***
Engineer ***A.B. Volkov***
(FAI «ROSDORNII»),
Engineer ***A.O. Abulaksimov****,*
Engineer ***D.I. Kondrashin***
(Moscow State University of
Railway Engineering (MIIT))
Contact information: p.lushnikov@rosdornii.ru;
lab@rosdornii.ru

The article deals with the results of dynamic impact factor calculating obtained with the usage of dual-mass mechanical vehicle model. Dependences of dynamic impact factor on traffic volume and vehicle speed on a given road section are considered.

Key words: *dynamic impact factor, mechanical vehicle model, dual-mass model, motion model equations.*

Рецензент: канд. техн. наук А.Е. Мерзликин (ФАУ «РОСДОРНИИ»).
Статья поступила в редакцию: 05.09.2016 г.