

2. Установка в трансмиссию промышленного трактора класса 40 кН гидротрансформатора позволяет значительно уменьшить в ней динамические моменты при трогании трактора без нагрузки.

3. Максимальный крутящий момент механической трансмиссии высокоэнергонасыщенного трактора класса 40 кН при трогании с предварительно заглубленным отвалом бульдозера в 1,32...1,68 раза превышает средний крутящий момент; в гидромеханической трансмиссии в 1,18...1,35 раза.

4. При разгоне трактора ТП-4Э с предварительно заглубленным отвалом бульдозера коэффициент динамичности в механической трансмиссии в среднем на 15 % выше, чем в гидромеханической.

Литература

1. Совершенствование конструкций и повышение надежности тракторов и погрузчиков. Красноярск, 2003. С. 18-27.

УДК 629.44

С.П. Рыков*, Р.С. Бекирова, В.С. Коваль

МОДЕЛИРОВАНИЕ СЛУЧАЙНОГО МИКРОПРОФИЛЯ АВТОМОБИЛЬНЫХ ДОРОГ

Предложен оригинальный метод моделирования случайного микропрофиля автомобильных дорог по заданному виду корреляционной функции. Для реализации метода разработана программа в среде MATHCAD, выполнены расчеты для пяти интенсивно эксплуатируемых испытательных дорог автополигона (г. Дмитров).

Ключевые слова: моделирование, микропрофиль, корреляционная функция, импульс, фильтр, частота.

В практике инженерной и научной деятельности при проектировании систем поддрессоривания и виброзащиты, при исследовании колебаний автомобиля и нагруженности его конструкции, особенно с учетом новых представлений о функционировании элементов подвески и шин, формирование внешнего воздействия наиболее целесообразно осуществлять путем численного моделирования случайного микропрофиля дорог, идентичного по своим характеристикам микропрофилю испытательных дорог автополигонов или дорог общего пользования.

Такой подход, подкрепленный соответствующим программным комплексом

для персональных ЭВМ, дает в руки инженеров и ученых эффективный инструмент для исследования динамических систем автомобиля при его движении в разных режимах и в самой общей постановке, т. е. при случайном воздействии и наличии нелинейных связей.

Суть задачи моделирования случайного микропрофиля реальной дороги заключается в получении импульсной переходной функции некоторого формирующего фильтра, которая при подаче на вход сигнала типа «белый шум» превращалась бы его в стационарный процесс с наперед заданными характеристиками, например, с корреляционной функцией вида:

* - автор, с которым следует вести переписку.

$$\rho(\Delta l) = A_1 e^{-\alpha_1 |\Delta l|} + A_2 e^{-\alpha_2 |\Delta l|} \cos \beta |\Delta l|,$$

где $\rho(\Delta l)$ – нормированная корреляционная функция; A_1, A_2 – коэффициенты влияния ($A_1 + A_2 = 1$); α_1, α_2 – коэффициенты степени нерегулярности случайного процесса; β – частота периодической составляющей; Δl – интервал корреляции по длине.

Такая аналитическая форма корреляционной функции является наиболее употребительной и представительной при аппроксимации эмпирических значений корреляционных функций микропрофилей дорог [1].

Структурная схема формирующего фильтра может быть представлена в следующем виде

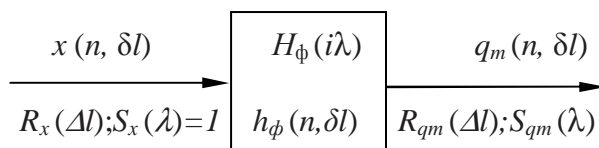


Рис. 1. Структурная схема формирующего фильтра.

На рис. 1 введены следующие обозначения: $x(n, \delta l)$, $R_x(\Delta l)$, $S_x(\lambda)$ – «белый шум», его корреляционная функция и спектральная плотность; $H_\phi(i\lambda)$, $h_\phi(n, \delta l)$ – передаточная и импульсная переходная функции фильтра; $q_m(n, \delta l)$, $R_{qm}(\Delta l)$, $S_{qm}(\lambda)$ – смоделированный сигнал, его корреляционная функция и спектральная плотность; λ – волновая частота микропрофиля; δl – шаг моделирования; n – количество точек моделирования ($n=0 \dots ND$).

Алгоритм моделирования искомого процесса q_m по импульсной переходной функции как исчерпывающей характеристике линейного звена будет включать несколько этапов: моделирование «белого шума», построение передаточной функции фильтра, построение импульсной переходной функции, формирование искомого процесса с заданными характе-

ристиками и оценка точности метода моделирования.

Моделирование «белого шума» с единичной интенсивностью (дисперсия сигнала $Dx = 1$) осуществляется по формуле [2]

$$x(n, \delta l) = \eta + \frac{1}{20 \cdot 12} (\eta^3 - 3\eta),$$

где $\eta = \sum (a_i - 0,5)$; a_i – независимые

случайные величины, равномерно распределенные в интервале $0 \dots 1$.

Построение передаточной функции фильтра осуществляется с использованием интеграла Фурье, связывающего спектральную плотность и корреляционную функцию искомого процесса (случайного микропрофиля дороги), в виде

$$S_q(\lambda) = \frac{1}{\pi} \int_{-\infty}^{\infty} R_q(\Delta l) e^{-i\lambda \Delta l} d(\Delta l),$$

где $R_q(\Delta l) = D_q p(\Delta l)$; D_q – дисперсия ординат микропрофиля дороги; а также уравнения Виннера-Хинчина, связывающего спектральные плотности сигналов на входе и выходе линейной системы через квадрат модуля передаточной функции в виде

$$S_q(\lambda) = |H_\phi(i\lambda)|^2 S_x(\lambda).$$

Применяя метод факторизации при разложении на множители спектральной плотности как дробно-рациональной функции волновой частоты λ , можно получить следующее выражение передаточной функции фильтра

$$H_\phi(i\lambda) = k_0 \frac{[(\lambda + b_2) - i\alpha_2][(\lambda + b_2) + i\alpha_2]}{(\lambda + \alpha_1)[(\lambda + \alpha_2) - i\beta_2][(\lambda + \alpha_2) + i\beta_2]}, \quad (1)$$

где k_0, a_2, b_2 – действительные функции параметров искомого микропрофиля ($D_q, A_1, A_2, a_1, a_2, \beta$).

Построение импульсной переходной функции фильтра осуществляется с ис-

пользованием интеграла обратного преобразования по Лапласу передаточной функции в виде

$$h_{\phi}(l) = \frac{1}{\pi_0} \int_0^{\infty} H_{\phi}(i\lambda) e^{\lambda l} dl.$$

В случае дискретного аргумента и функции $H_{\phi}(i\lambda)$ вида (1), т. е. дробно-рациональной со всеми различными корнями, будем иметь

$$h_{\phi}(n, \delta l) = \sum_{j=1}^p \frac{A_s(\lambda_j)}{B'_p(\lambda_j)} e^{\lambda_j n \delta l},$$

где $A_s(\lambda_j)$, $B'_p(\lambda_j)$ – выражения полиномов в числителе и знаменателе функции (1) для каждого полюса λ_j передаточной функции; s – число корней; p – число полюсов.

После подстановки в уравнение выражений для полюсов λ_j и всех промежуточных преобразований окончательно получим

$$h_{\phi}(n, \delta l) = k_0 \left[\frac{A_1}{B_1} e^{-\alpha_1 n \delta l} + 2e^{-\alpha_2 n \delta l} (\gamma_0 \cos \beta n \delta l - \mu_0 \sin \beta n \delta l) \right],$$

где A_1 , B_1 , γ_0 , μ_0 – действительные функции параметров искомого микропрофиля.

Формирование ординат искомого микропрофиля как случайного стационарного процесса с заданной корреляционной функцией осуществляется с использованием интеграла свертки в виде

$$q(n, \delta l) = \int_0^{\infty} h_{\phi}(n, \delta l) \cdot x(l - n \delta l) d(n \delta l),$$

который при малом шаге моделирования δl можно заменить суммой вида

$$q(n, \delta l) = \sqrt{\delta l} \sum_{k=0}^n h[k \delta l] \cdot x[n - k],$$

где $n=0 \dots ND$; k – текущее значение шага моделирования, ND – предельное значение точек моделирования.

Вычисление корреляционной функции смоделированного процесса осуществляется по формуле

$$R_{qm}(n, \delta l) = \frac{1}{ND - n} \sum_{m=1}^{ND-n} q_m \cdot q_{m+n}.$$

Точность данного метода моделирования (метода факторизации) оценивается коэффициентом множественной корреляции между корреляционными функциями смоделированного и экспериментального микропрофиля, т. е:

$$r^2 = \frac{\sum_{i=1}^k X_i Y_i \sum_{i=1}^k X_i Y_i}{\sum_{i=1}^k X_i^2 \sum_{i=1}^k Y_i^2},$$

где $X_i \equiv R_{qmi}$ – корреляционная функция смоделированного микропрофиля,

$Y_i \equiv R_{qi}$ – корреляционная функция экспериментально полученного микропрофиля.

На основании данного алгоритма, схема которого приведена на рис. 2, разработано программное обеспечение в среде MATHCAD численного моделирования, выполнены расчеты микропрофиля пяти наиболее эксплуатируемых специальных дорог автополигона НИЦИАМТа (г.Дмитров).

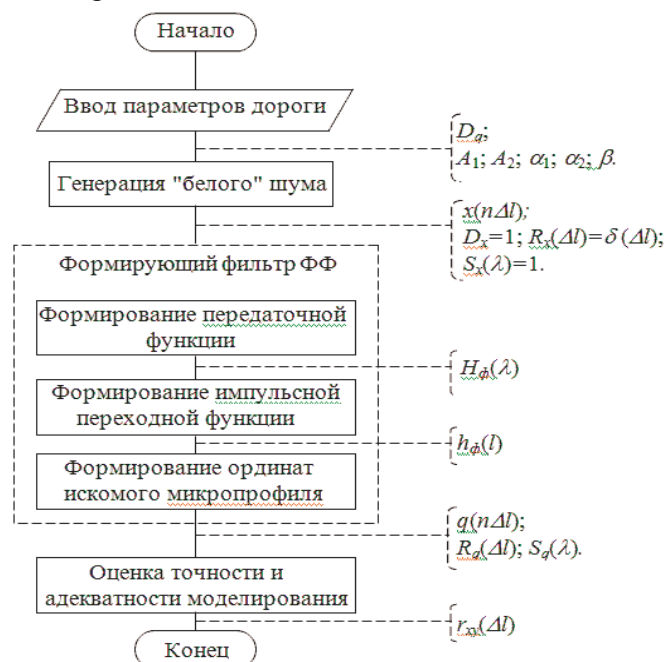
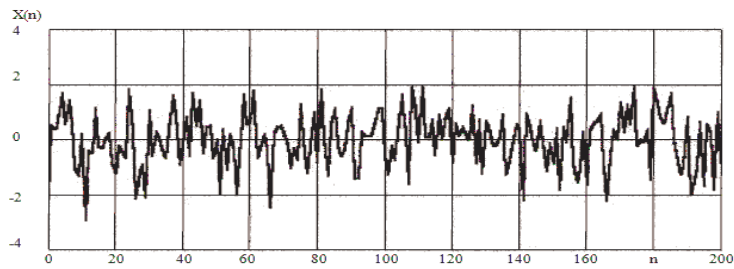
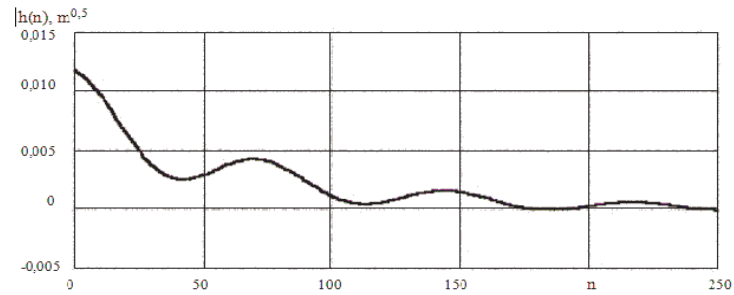


Рис. 2. Блок-схема алгоритма численного моделирования случайного микропрофиля автомобильных дорог.

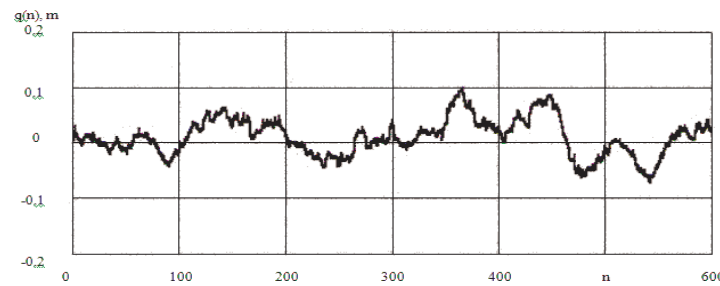
Результаты вычислений для случая булыжной, сильно выбитой мостовой приведены на рис. 3.



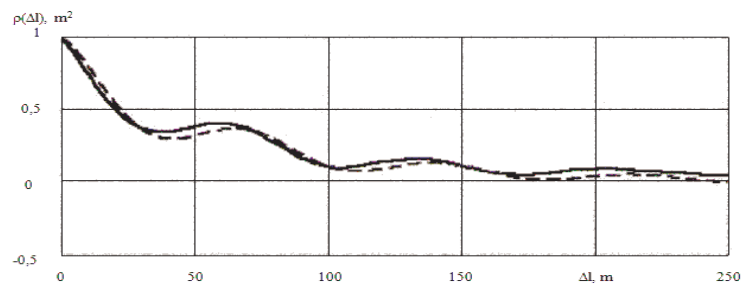
а)



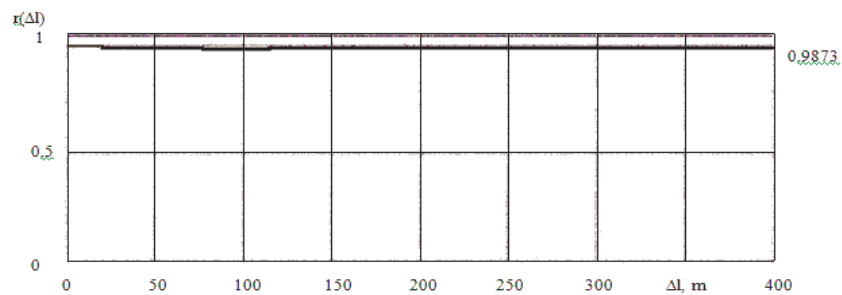
б)



в)



г)



д)

Рис. 3. Результаты вычислений случайного микропрофиля испытательной дороги автополигона: а – случайная стационарная функция типа «белый шум»; б – импульсная переходная функция фильтра; в – смоделированный случайный стационарный

процесс; g – корреляционные функции: смоделированного микропрофиля, экспериментально полученного микропрофиля; d – зависимость коэффициента множественной корреляции от интервала корреляции.

Анализ приведенных диаграмм, и в первую очередь корреляционных функций, дает основания для следующих выводов:

1) примененный метод факторизации (в отличие, например, от метода рекуррентных соотношений) позволяет достаточно обоснованно и наглядно, путем построения характеристик формирующего фильтра смоделировать случайный процесс, идентичный по корреляционной функции случайному микропрофилю реальной дороги;

2) корреляционные функции смоделированного и реального процессов практически совпадают на начальном участке. Также совпадают координаты первых пересечений функций с осью абсцисс, достаточно хорошо совпадут амплитуды и периоды периодических составляющих функций и последующие точки пересечения с осью абсцисс;

3) значения коэффициента множественной корреляции изменяются в пределах $1 \leq r \leq 0,95$ для значительного диапазона интервала корреляции, что говорит о хорошей сходимости процессов;

4) разработанный алгоритм моделирования вместе с программным обеспечением и результатами моделирования пяти дорог автополигона НИЦИАМТа могут

быть успешно использованы при исследованиях систем управления автомобиля на случайное воздействие и получении полного перечня частотных и спектральных характеристик реакций систем, а также оценки степени нелинейности их звеньев.

Литература

1. Пархиловский И. Г. Автомобильные листовые рессоры. М.: Машиностроение, 1978. 232 с.

2. Ермаков С. М., Михайлов Г. А. Курс статического моделирования. М.: Наука, 1976. 320 с.

3. Рыков С. П. Моделирование случайного микропрофиля дорог при исследовании колебаний систем, эквивалентных подвеске автомобиля // Математическое моделирование, численные методы и комплексы программ: межвуз. темат. сб. тр. СПб: СПбГАСУ. 2002. Вып. 8. С. 134-141.

4. Рыков С. П. Моделирование и оценка поглощающей и сглаживающей способности пневматической шины в расчетах подвески, плавности хода и поддрессирования автомобиля : монография. Братск : БрГТУ, 2004. С.124.