

Интернет-журнал «Наукоедение» ISSN 2223-5167 <http://naukovedenie.ru/>

Том 8, №2 (2016) <http://naukovedenie.ru/index.php?p=vol8-2>

URL статьи: <http://naukovedenie.ru/PDF/14TVN216.pdf>

DOI: 10.15862/14TVN216 (<http://dx.doi.org/10.15862/14TVN216>)

Статья опубликована 28.03.2016.

Ссылка для цитирования этой статьи:

Малахов И.И., Суковин М.В. Математическая модель системы «микрорельеф – ходовое оборудование» // Интернет-журнал «НАУКОВЕДЕНИЕ» Том 8, №2 (2016) <http://naukovedenie.ru/PDF/14TVN216.pdf> (доступ свободный). Загл. с экрана. Яз. рус., англ. DOI: 10.15862/14TVN216

УДК 625.728.1

Малахов Иван Игоревич

ФГБОУ ВПО «Омский государственный технический университет», Россия, Омск¹

Доцент кафедры «Технология машиностроения»

Кандидат технических наук

E-mail: mivan.doc@yandex.ru

РИНЦ: http://elibrary.ru/author_profile.asp?id=647738

Суковин Михаил Владимирович

ФГБОУ ВПО «Сибирская государственная автомобильно-дорожная академия», Россия, Омск²

Доцент кафедры «Техносферная безопасность»

Кандидат технических наук

E-mail: sukovin8@gmail.ru

РИНЦ: http://elibrary.ru/author_profile.asp?id=822659

Математическая модель системы «микрорельеф – ходовое оборудование»

Аннотация. Проведение машинного эксперимента позволяет на этапе проектирования систем виброзащиты человека - оператора на рабочем месте строительно-дорожной машины оптимально выбрать место установки в конструкции машины упруго-вязких элементов, а также определить их основные параметры: жесткость пружин, вязкость и рабочий ход амортизаторов. Для решения задачи компьютерного моделирования необходимо сформировать профиль, с которым взаимодействует ходовое оборудование строительно-дорожной машины. В связи с этим, скомпилирована математическая модель взаимодействия «микрорельеф - элементы ходового оборудования», модель может быть представлена детерминированными и стохастическо-детерминированными функциями, а также записью реального случайного профиля реализованная в программном комплексе MATLAB с пакетным расширением Simulink. В данной статье представлена подсистема пересчета кинематического возбуждения в силовое при воздействии микрорельефа дорожного покрытия на ходовое оборудование в зависимости от скорости и типа микрорельефа, по которому движется строительно-дорожная машина. Разработаны алгоритмы формирования микрорельефа при помощи программного продукта. Представлены результаты моделирования в виде графиков по правой и левой колее. Определены корреляционные функции четырех типов микрорельефа: асфальтовое покрытие хорошего качества, цементно-

¹ Россия, Омск, пр-т Мира, д. 11

² Россия, Омск, пр-т Мира, д. 5

бетонное покрытие, булыжное покрытие с впадинами и буграми, булыжник удовлетворительного качества.

Ключевые слова: виброзащита; строительно-дорожная машина; ходовое оборудование; микрорельеф; математическая модель; кабина; программный комплекс

Одним из основных источников воздействия вибрации на кабину строительно-дорожной машины является взаимодействие ходового оборудования машины с микрорельефом [1]. При проектировании виброизоляторов кабины, кресла человека – оператора необходимо проведение машинного эксперимента с целью определения эффективности применяемого устройства виброзащиты. Проведение машинного эксперимента позволяет на этапе проектирования систем виброзащиты человека - оператора на рабочем месте строительно-дорожной машины оптимально выбрать место установки в конструкции машины упруго-вязких элементов, а также определить их основные параметры: жесткость пружин, вязкость и рабочий ход амортизаторов. Для отражения влияния микрорельефа на строительно-дорожную машину используются его математические модели. Модели могут быть представлены детерминированными и стохастическо-детерминированными функциями, а также записью реального случайного профиля.

Детерминированные модели представляют собой математическое описание неровностей рельефа в виде детерминированных функциональных зависимостей вертикальных координат поверхности от горизонтальных координат. Они менее достоверны по сравнению со стохастическими и имеют ограниченные возможности. Их в основном используют при подтверждении адекватности создаваемых математических моделей, анализе частотных характеристик исследуемых машин и качественных показателей систем управления рабочим органом [2, 11].

Реальный случайный профиль представляет собой замеренные с определенным шагом вертикальные координаты поверхности относительно принятой системы координат. Он имеет ограниченное применение и используется в основном при создании наземных транспортных средств.

Для изучения строительно-дорожной машины наиболее удобно пользоваться стохастическо-детерминированной моделью земляного полотна. При этом корреляционная функция профиля задается детерминированной моделью, а по ней с использованием рекуррентных соотношений строится на ЭВМ псевдослучайный профиль.

Профиль местности делится на три составляющие - макропрофиль, микропрофиль и шероховатости. Макропрофиль состоит из длинных плавных неровностей (длина волны от 100 м и более) и практически не вызывает колебаний машины. Микропрофиль состоит из неровностей (длина волны от 10 см до 100 м) и вызывает заметные колебания машины. Шероховатости (длина волны менее 10 см) сглаживаются шинами и не вызывают ощутимых колебаний машины [2, 6].

В настоящее время накоплен обширный материал, описывающий статистические свойства различных типов грунтовых поверхностей. Математическому описанию микрорельефа посвящено много работ как у нас в стране, так и за рубежом [3].

Микропрофиль является случайной функцией протяженности пройденного пути ℓ , и его принято рассматривать как случайную функцию, удовлетворяющую следующим допущениям: функция стационарна; ординаты микропрофиля подчиняются нормальному закону распределения; длины неровностей ограничены по верхнему и нижнему пределам;

микропрофиль меняется случайным образом только в вертикальной продольной плоскости [7].

Для использования статических характеристик грунта в качестве возмущающего воздействия, их целесообразно выражать в функции времени t . При этом необходимо знать скорость движения V и использовать соотношение

$$t = \frac{\ell}{V}, \quad (1)$$

где ℓ - длина пройденного пути.

Достаточными статистическими характеристиками микропрофиля дороги является его корреляционная функция $R(\ell)$ и спектральная плотность $S(\omega)$.

Корреляционная функция дает представление об изменении микропрофиля по длине участка (или случайного колебательного процесса во времени), другая характеристика (спектральная плотность дисперсий) дает представление о частоте повторения длин неровностей (о преобладающих частотах или случайном процессе). Аргументом спектральной плотности является так называемая частота дороги ("путевая частота")

$$\omega = 2 \cdot \frac{\pi}{\ell}. \quad (2)$$

Для аналитической поверхности, представленной в виде

$$y = y(x, z), \quad (3)$$

где x, z - продольная и поперечная координаты точки поверхности с вертикальной координатой y .

Двумерная корреляционная функция такой поверхности имеет вид:

$$R(\xi, \eta) = \lim_{\substack{x \rightarrow \infty \\ z \rightarrow \infty}} \frac{1}{4 \cdot x \cdot z} \int_{-x}^x \int_{-z}^z y(x, z) y(x + \xi, z + \eta) dx dz. \quad (4)$$

Вычисление двумерной корреляционной функции $R(\xi, \eta)$ сложно и трудоемко. В работах предложено описывать микрорельеф поверхности двумя функциями микропрофиля по левой и правой колее, а поперечный уклон в поперечном сечении оценивать по вертикальным координатам левой и правой колеи [8].

Зная корреляционную функцию микропрофиля, можно определить спектральную плотность дисперсий $S(\omega)$. Они связаны между собой преобразованием Фурье:

$$R(\ell) = 2 \int_0^{\infty} S(\omega) \cos(\omega \ell) d\omega, \quad (5)$$

$$S(\omega) = \frac{1}{\pi} \int_0^{\infty} R(\ell) \cos(\omega \ell) d\ell. \quad (6)$$

Большинство грунтовых поверхностей имеет корреляционные функции, которые описываются выражениями:

$$R(\tau) = \sigma_k^2 \cdot e^{-\alpha_k |\tau|}, \quad (7)$$

$$R(\tau) = \sigma_k^2 \cdot e^{-\alpha_k |\tau|} \cos(\beta_k \tau), \quad (8)$$

где α_k, β_k - коэффициенты, зависящие от типа профиля; $\tau = \ell \cdot V$, где V - скорость движения; ℓ - расстояние, пройденное от начала отсчета; σ_k^2 - дисперсия статистики микропрофиля поверхности.

Для моделирования на электронно-вычислительной машине случайного процесса используются рекуррентные уравнения вида.

Для корреляционной функции (7):

$$y(n) = a_0 \cdot x(n) + b_1 \cdot y(n-1), \quad (9)$$

где $a_0 = \sigma \cdot \sqrt{1-\rho^2}$, $b_1 = \rho$, $\rho = e^{-\gamma}$, $\gamma = \alpha \cdot h$.

Для корреляционной функции (8):

$$y(n) = a_0 \cdot x(n) + a_1 \cdot x(n-1) + b_1 \cdot y(n-1) + b_2 \cdot y(n-2), \quad (10)$$

где $a_0 = \sigma \cdot C$, $a_1 = \frac{\sigma \cdot C_0}{C}$, $b_1 = 2 \cdot \rho \cdot \cos \gamma_0$, $b_2 = -\rho^2$, $C_0 = \rho \cdot (\rho^2 - 1) \cdot \cos \gamma_0$,

$$C_1 = 1 - \rho^4, \quad \rho = e^{-\gamma}, \quad \gamma = \alpha \cdot h, \quad C = \frac{\sqrt{C_1 \pm \sqrt{C_1^2 - 4 \cdot C_0^2}}}{2}, \quad \gamma_0 = \beta \cdot h,$$

где σ - среднеквадратическое отклонение исходного профиля; α, β - коэффициенты затухания и периодичности корреляционной функции; h - шаг дискретности времени.

Для моделирования микрорельефа используется стохастическо-детерминированная модель [4].

На основании уравнений (9), (10) в программном комплексе *MATLAB* разработана подсистема, алгоритм работы которой, представлен на рисунке 1. Диалоговое окно программы представлено на рисунке 2.

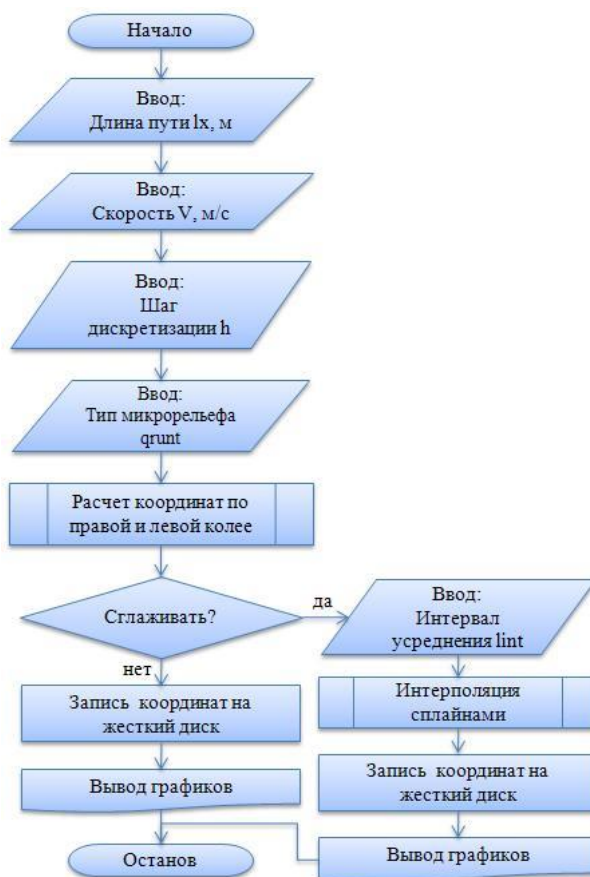


Рисунок 1. Блок-схем подсистемы, моделирующей микрорельеф (рисунок авторов – Малахов Иван Игоревич)

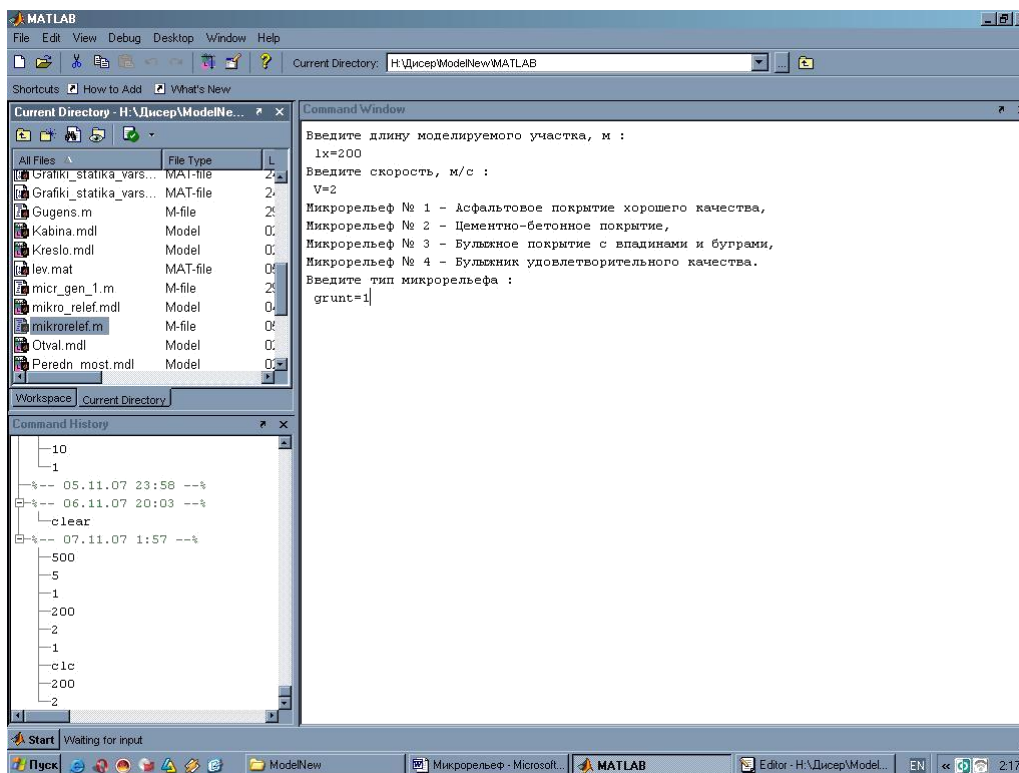


Рисунок 2. Диалоговое окно файл-функции mikrorelief (рисунок авторов – Малахов Иван Игоревич)

В подсистеме заданы корреляционные функции четырех типов микрорельефа: №1 – Асфальтовое покрытие хорошего качества, №2 – Цементно-бетонное покрытие, №3 – Булыжное покрытие с впадинами и буграми, №4 – Булыжник удовлетворительного качества.

В результате работы подсистемы получаем кинематическое возбуждение, то есть вертикальную координату микрорельефа. Для передачи возбуждения в имитационную модель необходимо кинематическое возбуждение перевести в силовое. Для этой цели в пакете расширения Simulink программного комплекса MATLAB разработана подсистема, показанная на рисунке 3. [9].

Алгоритм, поясняющий работу подсистемы, изображенной на рисунке 3, представлен на рисунке 4.

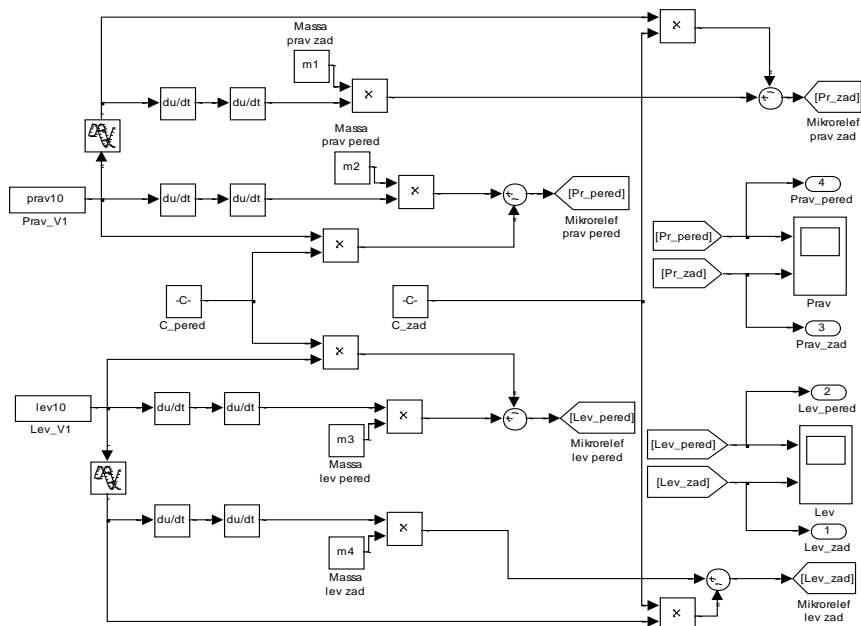


Рисунок 3. Подсистема пересчета кинематического возбуждения в силовое (рисунок авторов – Малахов Иван Игоревич)

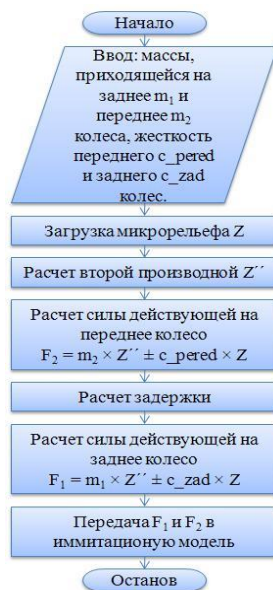


Рисунок 4. Блок-схема алгоритма работы подсистемы пересчета кинематического возбуждения в силовое (рисунок авторов – Малахов Иван Игоревич)

На рисунке 5 показан результат выполнения файл-функции при $l_x = 100$ м, $V = 2$ м/с, $grunt = 1$ (Асфальтовое покрытие хорошего качества). Также результаты сохраняются в рабочей области и на жестком диске в текущем каталоге [10].

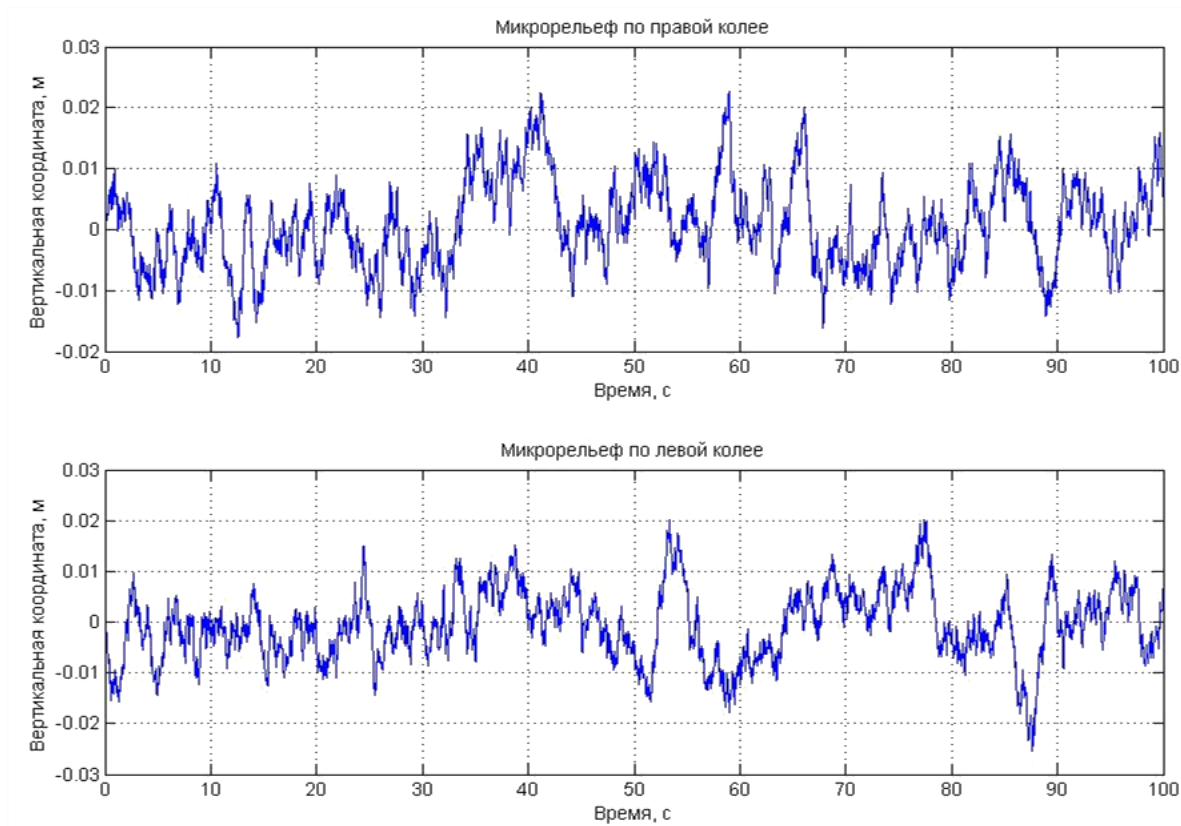


Рисунок 5. Результат выполнения файл-функции *mikrorelef*
(рисунок авторов – Малахов Иван Игоревич)

Полученная математическая модель "микрорельеф – элементы ходового оборудования строительно-дорожной машины" и реализованная в программном комплексе *MATLAB* позволяет рассчитывать силы, действующие на элементы ходового оборудования, в зависимости от скорости и типа микрорельефа, по которому движется строительно-дорожная машина. Данная программа является полезной при определении вибрационной нагрузки на человека-оператора на этапе проектирования различного типа и назначения строительно-дорожных машин.

ЛИТЕРАТУРА

1. Малахов И.И. Система автоматизированного моделирования сложной динамической системы «микрорельеф - базовая машина - кабина - человек-оператор» // Вестник Сибирской государственной автомобильно-дорожной академии. 2008. № 10. С. 80-85.
2. Щербаков В.С., Малахов И.И. Система моделирования устройств виброзащиты кабины строительно-дорожной машины // Вестник Воронежского государственного технического университета. 2009. Т. 5. № 9. С. 6-11.
3. Алешков Д.С., Суковин М.В. К вопросу оптимизации профессиональных рисков в перевозочном процессе // Россия молодая: передовые технологии – в промышленность!. 2011. № 2. С. 297-300.
4. Суковин М.В., Алешков Д.С. Закономерности воздействия производственной вибрации на организм человека-оператора транспортного средства при перевозках грузов // В сборнике: Архитектура. Строительство. Транспорт. Технологии. Инновации Материалы Международного конгресса ФГБОУ ВПО «СибАДИ». Омск, 2013. С. 22-25.
5. Алешков Д.С., Столяров В.В., Суковин М.В. Методы снижения вредного воздействия производственной вибрации на организм человека – оператора строительно - дорожных машин // Интернет-журнал «НАУКОВЕДЕНИЕ» Том 7, No5 (2015) <http://naukovedenie.ru/PDF/218TVN515.pdf> (доступ свободный). Загл. с экрана. Яз. рус., англ. DOI: 10.15862/218TVN515.
6. Силаев А.А. Спектральная теория поддресоривания транспортных машин. – М.: Машиностроение, 1972. – 192 с.
7. Вибрация в технике: Справочник в 6-ти Т. / Под ред. К.В. Фролова. - М.: Машиностроение, 1981. - 456 с.
8. Маслов Г.С. Колебания в машинах и элементы виброзащиты: Учеб. пособие / Г.С. Маслов, В.С. Артемьев, В.А. Макаров. – М., 1987. – 92 с.
9. Алешков Д.С., Столяров В.В., Суковин М.В. Снижение эквивалентного уровня вибрации методом совершенствования конструкций элементов виброзащиты строительно-дорожных машин // Интернет - журнал «НАУКОВЕДЕНИЕ» Том 7, No5 (2015) <http://naukovedenie.ru/PDF/198TVN515.pdf> (доступ свободный). Загл. с экрана. Яз. рус., англ. DOI: 10.15862/198TVN515.
10. Малахов И.И. Система автоматизации проектирования устройств виброзащиты кабин дорожных машин на базе колесных тракторов диссертация на соискание ученой степени кандидата технических наук /: Дис. ... канд. техн. наук. Сиб. Автомобил.-дорож. Акад. (сибади). Омск, 2009.
11. Алешков Д.С., Степанова Е.А., Абдрахманов Х.Ф. Совершенствование эргономических показателей рулевого упарвления строительно-дорожных машин // Омский научный вестник. 2006. № 8-1 (44). С. 106-108.

Malakhov Ivan Igorevich

Omsk state technical University, Russia, Omsk
E-mail: mivan.doc@yandex.ru

Sukovin Mikhail Vladimirovich

Siberian State Automobile and Highway Academy, Russia, Omsk
E-mail: sukovin8@gmail.ru

Mathematical model of system «the microrelief of – way equipment»

Abstract. Conducting experiment machine allows at the stage of designing of vibroprotection systems of the human operator in the workplace construction machinery optimally choose the place of installation of machine design elastic and viscous elements, as well as to determine their main parameters: stiffness, viscosity and stroke of shock absorbers. To solve the problem of computer simulation is necessary to form a profile, which interacts with the running equipment of road construction machines. In this regard, skomplikowana mathematical model of interaction "micro - elements navigation equipment", the model can be represented by deterministic and stochastic-deterministic functions, as well as a recording of a real random profile implemented in the software package MATLAB with the extension Simulink batch. This article presents the subsystem of conversion of kinematic excitation power when exposed microrelief of the road surface on the equipment chassis depending on the speed and type of microrelief, which moving road-building machine. The algorithms of formation of microrelief with the help of a software product. The results of simulation in form of graphs on the right and left track. Determined the correlation function of four types of microrelief: asphalt of good quality, cement-concrete pavement, cobblestone finish with depressions and mounds, cobble satisfactory quality.

Keywords: protection; road-building machine chassis equipment; relief; mathematical model; cab; software system

REFERENCES

1. Malakhov I.I. Sistema avtomatizirovannogo modelirovaniya slozhnoy dinamicheskoy sistemy «mikrorel'ef - bazovaya mashina - kabina - chelovek-operator» // Vestnik Sibirskoy gosudarstvennoy avtomobil'no-dorozhnoy akademii. 2008. № 10. S. 80-85.
2. Shcherbakov V.S., Malakhov I.I. Sistema modelirovaniya ustroystv vibrozashchity kabiny stroitel'no-dorozhnoy mashiny // Vestnik Voronezhskogo gosudarstvennogo tekhnicheskogo universiteta. 2009. T. 5. № 9. S. 6-11.
3. Aleshkov D.S., Sukovin M.V. K voprosu optimizatsii professional'nykh riskov v perevozhnom protsesse // Rossiya molodaya: peredovye tekhnologii – v promyshlennost'!. 2011. № 2. S. 297-300.
4. Sukovin M.V., Aleshkov D.S. Zakonomernosti vozdeystviya proizvodstvennoy vibratsii na organizm cheloveka-operatora transportnogo sredstva pri perevozkakh gruzov // V sbornike: Arkhitektura. Stroitel'stvo. Transport. Tekhnologii. Innovatsii Materialy Mezhdunarodnogo kongressa FGBOU VPO «SibADI». Omsk, 2013. S. 22-25.
5. Aleshkov D.S., Stolyarov V.V., Sukovin M.V. Metody snizheniya vrednogo vozdeystviya proizvodstvennoy vibratsii na organizm cheloveka – operatora stroitel'no - dorozhnykh mashin // Internet-zhurnal «NAUKOVEDENIE» Tom 7, No5 (2015) <http://naukovedenie.ru/PDF/218TVN515.pdf> (dostup svobodnyy). Zagl. s ekrana. Yaz. rus., angl. DOI: 10.15862/218TVN515.
6. Silaev A.A. Spektral'naya teoriya podrescorivaniya transportnykh mashin. – M.: Mashinostroenie, 1972. – 192 s.
7. Vibratsiya v tekhnike: Spravochnik v 6-ti T. / Pod red. K.V. Frolova. - M.: Mashinostroenie, 1981. - 456 s.
8. Maslov G.S. Kolebaniya v mashinakh i elementy vibrozashchity: Ucheb. posobie / G.S. Maslov, V.S. Artem'ev, V.A. Makarov. – M., 1987. – 92 s.
9. Aleshkov D.S., Stolyarov V.V., Sukovin M.V. Snizhenie ekvivalentnogo urovnya vibratsii metodom sovershenstvovaniya konstruktsiy elementov vibrozashchity stroitel'no-dorozhnykh mashin // Internet - zhurnal «NAUKOVEDENIE» Tom 7, No5 (2015) <http://naukovedenie.ru/PDF/198TVN515.pdf> (dostup svobodnyy). Zagl. s ekrana. Yaz. rus., angl. DOI: 10.15862/198TVN515.
10. Malakhov I.I. Sistema avtomatizatsii proektirovaniya ustroystv vibrozashchity kabin dorozhnykh mashin na baze kolesnykh traktorovdissertatsiya na soiskanie uchenoy stepeni kandidata tekhnicheskikh nauk /: Dis. ... kand. tekhn. nauk. Sib. Avtomobil.-dorozh. Akad. (sibadi). Omsk, 2009.
11. Aleshkov D.S., Stepanova E.A., Abdrakhmanov Kh.F. Sovershenstvovanie ergonomicheskikh pokazateley rulevogo uparvleniya stroitel'no-dorozhnykh mashin // Omskiy nauchnyy vestnik. 2006. № 8-1 (44). S. 106-108.