

А. А. ЛОБАТЫЙ, М. М. ТАТУР, А. К. ИБРАГИМ

ПРИБЛИЖЕННАЯ МАТЕМАТИЧЕСКАЯ МОДЕЛЬ ОЦЕНКИ ВЛИЯНИЯ ВИБРАЦИЙ НА НАВЕСНЫЕ ЭЛЕМЕНТЫ ВИДЕОСИСТЕМЫ МОБИЛЬНОГО РОБОТА

Белорусский национальный технический университет
Белорусский государственный университет информатики и радиоэлектроники

Решается задача построения и применения математической модели оценки влияния вибраций на навесные элементы видеосистемы мобильного робота. Данный робот рассматривается в качестве подвижной платформы для размещения специального оборудования различного назначения. Проведен анализ математических моделей и результатов экспериментальных исследований колебаний (вибраций) элементов конструкции многоопорных колесных машин. На основе данного анализа обоснован вид стохастической математической модели вибраций конструкции мобильного робота. Модель вибраций задана в виде корреляционной функции или спектральной плотности случайного процесса для различных условий перемещения робота. Представлены дифференциальные уравнения формирующего фильтра для моделирования случайного процесса вибраций с заданными характеристиками. Приведены дифференциальные уравнения для вероятностных моментов процесса вибраций. На основе уравнений для вероятностных моментов и предложенной формулы проведена оценка событий, которые заключаются в превышении амплитудой вибраций заданного уровня. Эти события называются выбросами случайного процесса и характеризуют диапазон, внутри которого сохраняются основные свойства оборудования, установленного на подвижной платформе. Проведено аналитическое исследование математической модели для определения интенсивности выбросов случайного процесса вибраций. Определены вероятностные характеристики процесса вибраций и интенсивности выбросов. Полученные теоретические результаты позволяют оценить работоспособность элементов видеосистемы, установленной на подвижной платформе и сформулировать основные требования к допускам на их параметры. Результаты компьютерного моделирования наглядно показали работоспособность предложенной математической модели оценки влияния вибраций.

Ключевые слова: *мобильный робот, вибрации, корреляционная функция, случайный процесс, интенсивность выбросов.*

Введение

Современные информационные технологии предоставляют большие возможности для проведения исследований сложных технических систем на основе их математических моделей. При этом следует учитывать, что не всегда подробная модель дает возможность получать результаты адекватные процессам, происходящим в системах. Это связано со сложностью построения детальной модели и настройки ее параметров, чтобы обеспечить необходимый уровень соответствия модели свойствам элементов системы. По этой причине остаются актуальными и востребованными упрощенные математические модели систем и процессов, описывающих их работу. Такие модели позволяют аналитически получить решения ряда прикладных задач анализа и синтеза. При этом, исследователь имеет

возможность наглядно представлять, «почувствовать» физические процессы, происходящие в системе.

Одним из актуальных направлений для приложения методов математического моделирования является создание робототехнических систем, которые интенсивно внедряются в различные сферы человеческой деятельности: от военного и специального применения до сельского хозяйства и оказания бытовых услуг. Робототехнический мобильный комплекс – это беспилотная машина, которая может перемещаться в пространстве и выполнять определенные функции, обусловленные её специализацией. Разработка мобильных робототехнических комплексов идет как по пути создания уникальных (механизированных) платформ, так и с применением шасси серийной автотракторной техники. Так, один из первых

отечественных мобильных роботов был создан на базе шасси серийного мини-трактора

«Беларус-132» производства ОАО «Сморгонский агрегатный завод» в 2015 г. (рис. 1), [1, 2].



Рис. 1. Общий вид робототехнического комплекса на базе шасси «Беларус-132»

В состав комплекса входят следующие навесные элементы: видеосистема для обеспечения вождения; бортовой компьютер; система телекоммуникации; специальное технологическое оборудование (радиоуправляемый лафетный ствол для пожаротушения).

При разработке и установке навесных элементов приходится сталкиваться с решением ряда проблем, одной из которых является вибрации (колебания) платформы, возникающие при работе двигателя, а также при движении платформы по неровным поверхностям. Эти вибрации могут оказывать нежелательное влияние на установленное оборудование, и в первую очередь – на видеосистему. Схематично, вертикальная составляющая колебаний и получаемые изображения объекта на условном экране представлены на рис. 2.

При решении задач позиционирования и навигации мобильного робота с использованием видеосистемы возникает целый ряд вопросов и связанных с ними проблем. Назовем лишь некоторые из них. Например, каким формальным аппаратом можно описать подобные колебания, чтобы их исследовать? Имеется ли возможность для выявления частотных, амплитудных и пространственных закономерностей колебаний видеосистемы, чтобы предлагать средства их демпфирования? Как определить предельные (пороговые) значения параметров колебаний, превышение которых ведет к срыву сопровождения (определению текущих координат)? Эти вопросы, а также возможные варианты их решения рассмотрим в настоящей работе.

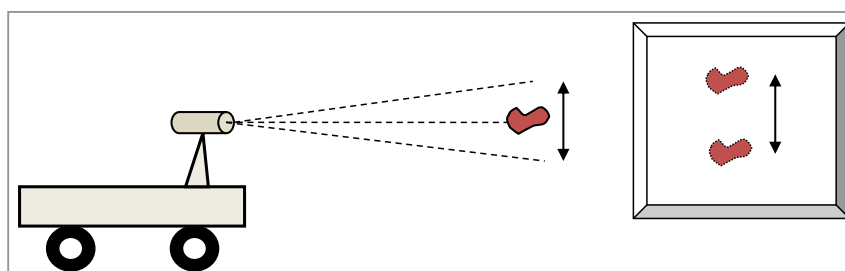


Рис. 2. Смещение изображения объекта на условном экране за счет вертикальных колебаний платформы

Вибрации мобильных платформ

Задачи исследования надежности и работоспособности изделий, установленных на подвижных платформах, в условиях действия случайных вибрационных нагрузок могут

решаться с помощью натуральных испытаний, при которых изделие устанавливается на соответствующее транспортное средство и далее реализуется процесс движения по соответствующей поверхности при заданной траектории

движения и скорости. Однако натурные испытания при высокой достоверности результатов являются очень дорогостоящими, требуют больших людских, материальных и временных затрат. Эти задачи могут также успешно решаться с помощью электродинамических вибростендов или на основе математического моделирования.

Изучению, моделированию и учету таких колебаний посвящен ряд работ [3, 4]. В частности, в работе [4] изложены основы теории моделирования и виртуального проектирования многоопорных колесных шасси, включая подробное рассмотрение задач по исследованию колебаний различных элементов конструкции многоопорных машин. Полученные результаты экспериментальных исследований целесообразно взять за основу при построении математических моделей разрабатываемых робототехнических комплексов.

Для определения статистических характеристик случайных вибраций подвижной платформы (кузова автомобиля) необходимо иметь математическое выражение для корреляционной функции источника вибрационного нагружения (микропрофиля дороги) и передаточную функцию от дороги к вертикальному перемещению поддрессоренной массы [3].

При исследовании колебаний мобильных машин рассматриваются случайные процессы с типовыми корреляционными функциями или их аппроксимациями [4]. Воздействие на мобильную машину неровностей поверхности в общем случае может рассматриваться как нерегулярное возмущение. Так как сами мобильные машины имеют присущую каждой из них частоту колебаний, то они выделяют те частоты возмущений, которые близки к их собственной частоте колебаний. Получающееся при этом движение называется «нерегулярной качкой» [5], представляющей собой колебательный процесс со случайной амплитудой и случайным периодом. Корреляционную функцию такого процесса как правило аппроксимируют выражением

$$R_x(\tau) = D_x e^{-\alpha|\tau|}, \quad (1)$$

где D_x – дисперсия процесса $X(t)$, α – параметр затухания.

Другим часто встречающимся типом корреляционной функции стационарного случайного процесса $X(t)$ является экспоненциально-косинусная корреляционная функция

$$R_x(\tau) = D_x e^{-\alpha|\tau|} \cos \omega_0 \tau, \quad (2)$$

где ω_0 – резонансная частота.

Анализ корреляционных функций (1) и (2) показывает, что случайные процессы с такими корреляционными функциями имеют производные с бесконечной дисперсией (не дифференцируемы в обычном смысле). Этого недостатка лишен третий тип корреляционной функции стационарного случайного процесса, имеющий следующий вид [5, 6]

$$R_x(\tau) = D_x e^{-\alpha|\tau|} (\cos \omega_0 \tau + \gamma \sin \omega_0 |\tau|). \quad (3)$$

Стационарный случайный процесс $X(t)$ с корреляционной функцией (3) при $\gamma = \frac{\alpha}{\omega_0}$ дифференцируем и дисперсия его производной конечна.

Формула (3) является наиболее удобной для аппроксимации процесса типа «нерегулярная качка». Ей соответствует спектральная плотность вида

$$S_x(\omega) = \frac{2D_x \alpha}{\pi} \frac{\beta^2}{\beta^4 + 2(\alpha^2 - \omega_0^2)\omega^2 + \omega^4}, \quad (4)$$

где $\beta^2 = \alpha^2 + \omega_0^2$.

Для конкретных дорожных покрытий параметры корреляционной функции определены экспериментально и приведены в ряде источников [3, 4, 6]. Например, для асфальтового покрытия $\alpha = 8$, $D_x = 1$; для проселочной дороги $\alpha = 4$, $D_x = 9$; для дорожного покрытия в плохом состоянии $\alpha = 2$, $D_x = 50$.

Иногда для практических расчетов путем имитационного моделирования колебательных процессов, происходящих при движении мобильных платформ (многоопорных машин) используют различные виды аппроксимаций корреляционных функций. Например, в работе [4] приведена формула

$$R_x(\tau) = A_1 \sigma_1^2 e^{-\alpha_1 |\tau|} + A_2 \sigma_2^2 e^{-\alpha_2 |\tau|} \cos \beta \tau. \quad (5)$$

Параметры корреляционной функции (5) $A_1, A_2, \sigma_1, \sigma_2, \alpha_1, \alpha_2, \beta$, полученные экспериментальным путем для различных поверхностей движения многоопорной машины, приведены в соответствующих источниках, в том числе в [4].

Построение формирующего фильтра

Анализ результатов, полученных экспериментально или на основе имитационного моделирования [3, 4], показал, что случайные вертикальные перемещения (вибрации) центра масс мобильной платформы представляют собой случайный процесс, который может быть получен с помощью математической модели, называемой формирующим фильтром. Задача получения математических выражений формирующего фильтра стационарного случайного процесса решается на основе формулы [6]

$$S_y(\omega) = |W_{\text{фф}}(j\omega)|^2 S_x(\omega), \quad (6)$$

где $S_x(\omega)$ – спектральная плотность входного сигнала, $S_y(\omega)$ – спектральная плотность выходного сигнала, $|W_{\text{фф}}(j\omega)|$ – амплитудно-частотная характеристика системы (формирующего фильтра). Задавая входным сигналом системы белый шум со спектральной плотностью $S_x(\omega) = S_0(\omega) = \text{const} = 1$, из выражения (6) получим

$$S_y(\omega) = |W_{\text{фф}}(j\omega)|^2. \quad (7)$$

Выражение для передаточной функции формирующего фильтра получается в результате разложения выражения (7) на комплексно-сопряженные множители и замене $j\omega$ на параметр преобразования Лапласа p [5].

Для случайного процесса со спектральной плотностью (6) передаточная функция формирующего фильтра представляет собой колебательное звено, которому соответствует дифференциальное уравнение второго порядка вида [6]

$$\ddot{X}(t) + 2\zeta_1\omega_1\dot{X}(t) + \omega_1^2 X(t) = k\xi(t), \quad (8)$$

или в форме Коши с обозначениями $X = X_1$, $\dot{X} = X_2$.

$$\dot{X} = X_2, \quad (9)$$

$$\dot{X}_2 = -\omega_1^2 X_1 - 2\zeta_1\omega_1 X_2 + k\xi, \quad (10)$$

где ξ – белый шум единичной интенсивности G_ξ .

$$\omega_1 = \sqrt{\omega_0^2 + \alpha^2}, \quad \zeta_1 = \frac{\alpha}{\sqrt{\omega_0^2 + \alpha^2}}, \quad k = \sqrt{\frac{4D_x\alpha}{\omega_0^2 + \alpha^2}}.$$

Для процесса, описываемого уравнениями (9)–(10), дифференциальные уравнения для математических ожиданий и корреляционных моментов имеют вид [5, 6]:

$$\dot{m}_x(t) = \dot{m}_1 = m_2, \quad m_x(0) = m_{x0}, \quad (11)$$

$$\dot{m}_x(t) = \dot{m}_2 = -2\zeta_1\omega_1 m_2 - \omega_1^2 m_1, \quad \dot{m}_x(0) = \dot{m}_{x0}, \quad (12)$$

$$\dot{D}_x(t) = \dot{\theta}_{11} = 2\theta_{12}, \quad D_x(0) = D_{x0}, \quad (13)$$

$$\dot{R}_{xx}(t) = \dot{\theta}_{12} = \theta_{22} - \omega_1^2\theta_{11} - 2\zeta_1\omega_1\theta_{12}, \quad R_{xx}(0) = R_{xx0}, \quad (14)$$

$$\dot{D}_x(t) = \dot{\theta}_{22} = -4\zeta_1\omega_1\theta_{22} - 2\omega_1^2\theta_{12} + k^2 G_\xi, \quad D_x(0) = D_{x0}. \quad (15)$$

В выражениях (11)–(15) аргумент t для упрощения записи опущен.

Аналитическая оценка влияния вибраций

Отрицательное влияние процесса $X(t)$ (вибраций) проявляется в превышении им некоторого допустимого уровня C , определённого для конкретного элемента системы (электронного или механического устройства). Превышение реализацией процесса $X(t)$ уровня C называют выбросом случайного процесса [7].

В работах [8, 9] получено выражение для определения интенсивности выбросов процесса, описываемого уравнениями (9)–(10).

$$\lambda_c(t) = \frac{1}{2\pi} \int_0^\infty \frac{\dot{X}}{\sqrt{D_x D_x}(1-r^2)} \times \exp\left(-\frac{1}{2(1-r^2)} \left[\frac{(X-m_x)^2}{D_x} - \frac{2r(X-m_x)(\dot{X}-m_{\dot{x}})}{\sqrt{D_x D_x}} + \frac{(\dot{X}-m_{\dot{x}})^2}{D_{\dot{x}}} \right]\right) d\dot{X}, \quad (16)$$

в котором $m_x = m_x(t)$, $m_{\dot{x}} = m_{\dot{x}}(t)$ – математические ожидания, $D_x = D_x(t)$, $D_{\dot{x}} = D_{\dot{x}}(t)$, – дисперсии процессов $X(t)$ и $\dot{X}(t) = \frac{dX(t)}{dt}$, $r = r(t)$ – коэффициент корреляции $X(t)$ и $\dot{X}(t)$ соответственно.

$$r = r_{xx} = \frac{R_{xx}}{\sqrt{D_x D_{\dot{x}}}}, \quad (17)$$

$R_{xx} = R_{xx}(t)$ – корреляционный момент (момент связи) $X(t)$ и $\dot{X}(t)$.

В установившемся режиме ($t \rightarrow \infty$) $m_x = m_{\dot{x}} = R_{xx} = 0$ и

$$D_x = \theta_{11} = \frac{k^2 G_\xi}{4\zeta_1^2 \omega_1^3}, \quad D_{\dot{x}} = \theta_{22} = \frac{k^2 G_\xi}{4\zeta_1 \omega_1}. \quad (18)$$

В этом случае (при $m_x = m_{\dot{x}} = r = 0$) интеграл (16) легко вычисляется и интенсивность выбросов определяется по формуле

$$\lambda_c(t=T) = \frac{1}{2\pi} \sqrt{\frac{D_x}{D_x}} \exp\left(-\frac{C^2}{2D_x}\right). \quad (19)$$

При достаточно большом значении C ($C \geq 3\sigma_x$, $\sigma_x = \sqrt{D_x}$) выбросы стационарного процесса $X(t)$ становятся редкими явлениями, а интервалы между выбросами будут настолько велики по сравнению с длительностью выбросов, что сечения случайного процесса, разделённые такими интервалами будут практически независимыми. При таких предположениях закон распределения числа выбросов будет близок к пуассоновскому закону, для которого

$$P_m = P\{N_c(T) = m\} = \frac{(\lambda_c T)^m}{m!} \exp(-\lambda_c T), \quad (20)$$

где P_m – вероятность того, что число положительных выбросов за уровень C случайного процесса $X(t)$ на интервале $[0, t] \subset T$ равно числу m .

Вероятность отсутствия выбросов P_0 и вероятность хотя бы одного выброса P_1 на интервале $[0, t] \subset T$ на основании (20) определяются выражениями

$$P_0 = \exp(-\lambda_c T), \quad P_1 = 1 - \exp(-\lambda_c T). \quad (21)$$

Выражения (19)–(21) позволяют оценить вероятностные характеристики случайного процесса с корреляционной функцией вида (3), описывающей воздействие вибраций на элементы системы в установившемся режиме. Например, при параметрах вибраций $\alpha = 8$, $D_x = 1$, $\gamma = 0.9$ и времени работы системы $T = 20$ с при значениях $C = 3\sigma_x$, $C = 4\sigma_x$, $C = 5\sigma_x$, в соответствии с формулой (21) интенсивности выбросов соответственно равны $\lambda_c(T) = 1.48 \cdot 10^{-4}$, $\lambda_c(T) = 4.47 \cdot 10^{-6}$, $\lambda_c(T) = 4.96 \cdot 10^{-8}$. Вероятность хотя бы одного выброса (выхода из строя чувствительного элемента системы), вычисленная по формуле (20) для трёх уровней, равна $P_1(C = 3\sigma_x) = 8.83 \cdot 10^{-3}$, $P_1(C = 4\sigma_x) = 2.68 \cdot 10^{-4}$, $P_1(C = 5\sigma_x) = 2.98 \cdot 10^{-6}$.

Таким образом, очевидно, что при уровне $C = 5\sigma_x$ в данном случае вероятность нежелательного положительного выброса является допустимо малой.

На рис. 3–5 представлены результаты математического моделирования вибраций подвижной платформы без учета их демпфирования элементами конструкции мобильного робота. Рассматривается движение робота по асфальтированной дороге ($\alpha = 8$, $D_x = 1$, $\gamma = 0.9$). На рис. 3 представлена иллюстрация реализация процесса вибраций.

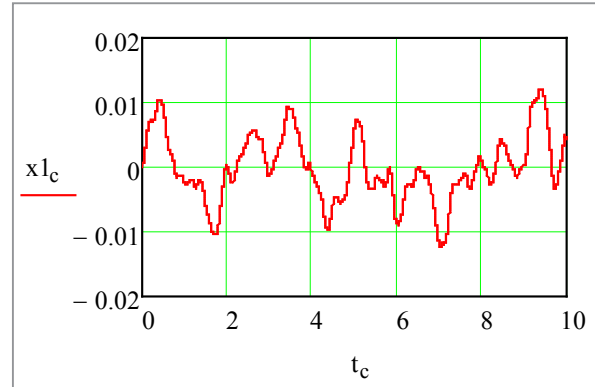


Рис. 3. Реализация процесса вибраций

На рис. 4 представлен график изменения среднего квадратического отклонения амплитуды колебаний, полученный на основе решения уравнений для вероятностных моментов.

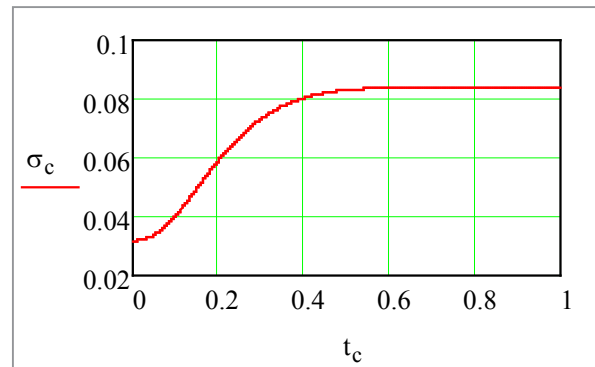


Рис. 4. График изменения среднего квадратического отклонения

На рис. 5 представлен график изменения интенсивности выбросов случайного процесса вибраций в переходном режиме работы.

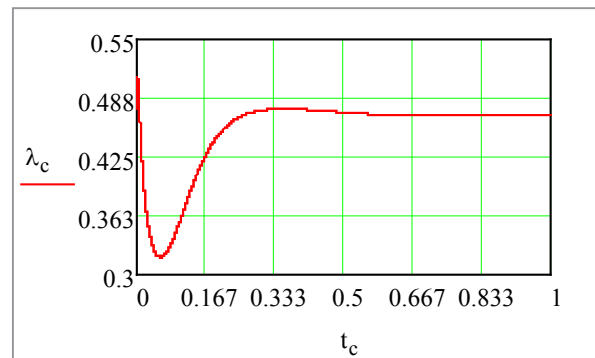


Рис. 5. График изменения интенсивности выбросов

Моделирование проводилось в среде Mathcad при следующих значениях параметров, характеризующих систему: $G_{\xi} = 1$, $C = 0.01$, $m_{x0} = 0$, $\dot{m}_{x0} = 0$, $D_{x0} = 0.001$, $D_{\dot{x}0} = 0.01$, $\dot{X}_{max} = 7\sigma_x$.

Заклучение

Необходимо отметить, что при исследовании переходных режимов работы системы необходимо рассматривать нестационарный процесс (9)–(10). При этом представляет некоторую трудность вычисление интеграла (16) (при $r \neq 0$). В этом случае необходимо решать уравнения для вероятностных моментов (11)–(15) и численно интегрировать выражение (16) при верхнем пределе интеграла равном теоретически максимально возможному значению скорости $\dot{X}_{\max} = \frac{dX}{dt} \max$.

Применение приближенной математической модели оценки влияния вибраций на элементы мобильного робота позволяет на основе экспериментально определённых статистических характеристиках внешних воздействий и заданных эксплуатационных параметрах элементов системы, подверженных воздействию вибраций, определить диапазон работоспособности и вероятностные характеристики надежной работы элементов навигационного

навесного оборудования, установленного на мобильном роботе. К такому оборудованию в первую очередь следует отнести видеосистемы, которые, как правило, устанавливаются на мобильных роботах. Кроме того на автономно управляемых мобильных роботах устанавливаются чувствительные к вибрациям датчики инерциальных навигационных систем, которые также требуют принятия мер по компенсации нежелательного воздействия вибраций.

Если на мобильном роботе для демпфирования вибраций применяются специальные механические устройства (рессоры, пружины), то их влияние при математическом моделировании учитывается добавлением к приведенной выше математической модели вибраций дифференциальных уравнений, описывающих передаточную функцию демпфирующего устройства (устройств). Модели таких демпфирующих устройств известны и приведены в соответствующих источниках, например в [3, 4].

ЛИТЕРАТУРА

1. **Татур, М. М.** Отечественный мобильный робот для тушения пожаров особой сложности: от концепции к опытному образцу / М. М. Татур // Чрезвычайные ситуации: предупреждение и ликвидация. – 2015. – № 1 (37). – С. 133–140.
2. **Татур, М. М.** Концепция построения системы управления мобильным роботом на платформе серийного минитрактора «Беларус 132» / М. М. Татур // Системный анализ и прикладная информатика. – 2015. – № 2. – С. 43–47.
3. **Селифонов, В. В.** Теория автомобиля / В. В. Селифонов, А. Ш. Хусаинов, В. В. Ломакин. – М.: МГТУ «МАМИ». – 2007. – 102 с.
4. **Гурский, Н. Н.** Моделирование и оптимизация колебаний многоопорных машин / Н. Н. Гурский, Р. И. Фурунжиев. – Минск: БНТУ. – 2008. – 296 с.
5. **Бессекерский, В. А.** Теория систем автоматического управления / В. А. Бессекерский, Е. П. Попов. – СПб.: Изд-во «Профессия». – 2004. – 856 с.
6. Методы классической и современной теории автоматического управления: Учебник в 5-ти тт.; 2-е изд, перераб. и доп. Т. 2: Статистическая динамика и идентификация систем автоматического управления / Под ред. К. А. Пупкова и Н. Д. Егупова. – М.: Издательство МГТУ им. Н. Э. Баумана. – 2004. – 638 с.
7. **Тихонов, В. И.** Выбросы случайных процессов / В. И. Тихонов. – М.: Наука. – 1970. – 186 с.
8. **Лобатый, А. А.** Аналитическое моделирование граничных режимов работы стохастической системы / А. А. Лобатый, Ж. М. Саид // Доклады БГУИР. – 2009. – № 4 (42). – С. 17–23.
9. **Лобатый, А. А.** Вероятностная оценка влияния вибраций на чувствительные элементы системы / А. А. Лобатый, Ю. Ф. Икуас // Вестник БНТУ. – 2009. – № 6. – С. 34–37.

Поступила
01.03.2021

После доработки
01.05.2021

Принята к печати
01.06.2021

LOBATY A. A., TATUR M. M., IBRAHIM A. K.

AN APPROXIMATE MATHEMATICAL MODEL FOR ESTIMATING THE INFLUENCE OF VIBRATIONS ON ATTACHED ELEMENTS OF A MOBILE ROBOT VIDEO SYSTEM

*Belarusian National Technical University
Belarusian State University of Informatics and Radioelectronics*

The problem of constructing and applying of mathematical model for assessing the influence of vibrations on the attached elements of the video system of a mobile robot is solved. This robot is considered as a mobile platform for placing of the special equipment for various purposes. The analysis of mathematical models and the results of experimental studies of vibrations of multi-support wheeled machine and its structural elements has been conducted. On the basis of this analysis, the form of a stochastic mathematical model of vibrations of the structure of a mobile robot has been substantiated. The vibration model is specified as a correlation function or spectral density of a random process for various conditions of the robot's movement. Differential equations of the shaping filter for modeling a random vibration process with given characteristics are presented. Differential equations for the probabilistic moments of the vibration process are presented. Based on the equations for the probabilistic moments and the proposed formula, an assessment of events, which consist in exceeding the vibration amplitude of a given level was carried out. These events are named as outliers of a random process and characterize the range within the basic properties of the equipment installed on the mobile platform are preserved. An analytical study of a mathematical model to determine the intensity of emissions of a random vibration process has been carried out. The probabilistic characteristics of the vibration process and the intensity of emissions are determined. The obtained theoretical results make it possible to assess the performance of the elements of a video system installed on a mobile platform and to formulate the basic requirements for tolerances for their parameters. The results of computer modeling clearly showed the efficiency of the proposed mathematical model for assessing the influence of vibrations.

Keywords: mobile robot, vibration, correlation function, random process, emission intensity.



Лобатый Александр Александрович, доктор технических наук, профессор. Профессор Белорусского национального технического университета. Проводит исследования в области анализа и синтеза систем управления, в том числе – беспилотными аппаратами. Автор и соавтор множества научных статей, книг и учебных пособий.

Тел: +375 (29) 346–82–56.

Lobaty A. A., doctor of Science, Professor at the Belarusian National Technical University. Conducts research in the areas of analysis and synthesis of control systems including unmanned vehicles. He is the author and co-author of many articles in scientific journals, conferences and books.

E-mail: lobaty@bntu.by



Татур Михаил Михайлович, доктор технических наук, профессор. Профессор Белорусского государственного университета информатики и радиоэлектроники. Проводит исследования в области мобильных роботов и искусственного интеллекта.

Тел: +375 (29) 764–38–61.

Tatur M. M., doctor of Science, Professor at the Belarusian State University of Informatics and Radioelectronics. Conducts research in the areas of mobile robotic systems and artificial intelligence.

E-mail: tatur@bsuir.by



Ибрагим Али Камель, аспирант кафедры «Робототехнические системы» Белорусского национального технического университета. Проводит исследования в области анализа и синтеза стохастических систем управления применительно к мобильным робототехническим системам.

Тел: +375 (29) 102–55–22.

Ibrahim A. K., PhD student of “Robotic systems” department of Belarusian National Technical University. Conducts research in the areas of analysis and synthesis of stochastic control systems applying to robotic systems.

E-mail: alik.ibrahim2015@gmail.com