УДК 519.2+539.1

Т. Е. АЛЕКСАНДРОВА, А. С. МАЗМАНИШВИЛИ, А. Ю. СИДОРЕНКО

ИМИТАЦИОННОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ СЛУЧАЙНЫХ ВОЗМУЩЕНИЙ ПРИ РЕШЕНИИ ЗАДАЧ ПАРАМЕТРИЧЕСКОГО СИНТЕЗА ТАНКОВЫХ ИНФОРМАЦИОННО-УПРАВЛЯЮЩИХ СИСТЕМ

Проводиться імітаційне моделювання випадкових збурень при вирішенні задач параметричного синтезу танкових інформаційно-керуючих систем. Запропоновано математичну модель, що описує випадкові зовнішні збурення, які діють на танкові системи та агрегати. Ця методика полягає у виборі параметрів, що формують, динамічних ланок і двовимірних полів при використанні одновимірних і двовимірних «білих шумів». Синтезовано алгоритми побудови двомірного дійсного нормального марківського поля другого порядку, будь-які ортогональні перетину якого є стаціонарними випадковими процесами Орнштейна – Уленбека. Змодельовані нормальні марківські поля нульового та другого порядків, що реалізовані на плоскій поверхні двох змінних при різних параметрах, що формують, динамічні ланки.
Ключові слова: імітаційне моделювання випадкових збурень, випадковий процес, марківські поля, двомірний об’єкт, процес Орнштейна – Уленбека, генерування випадкових полів.

Проводится имитационное моделирование случайных возмущений при решении задач параметрического синтеза танковых информационно-управляющих систем. Предложена математическая модель, описывающая случайные внешние возмущения, которые действуют на танковые системы и агрегаты. Данная методика состоит в выборе параметров формирующих динамических звеньев и двумерных полей при использовании одномерных и двумерных «белых шумов». Синтезированы алгоритмы построения двухмерного вещественного нормального марковского поля второго порядка, любые ортогональные сечения которого являются стационарными случайными процессами Орнштейна – Уленбека. Смоделированы нормальные марковские поля нулевого и второго порядков, реализованные на плоской поверхности двух переменных при различных параметрах формирующих динамических звеньев.
Ключевые слова: имитационное моделирование случайных возмущений, случайный процесс, марковские поля, двумерный объект, процесс Орнштейна – Уленбека, генерирование случайных полей.

It is carried out simulation of random disturbances in solving problems of parametric synthesis of tank information management systems. A mathematical model has been describing the random external disturbances which act on the Tank system and units. This technique consists in choosing parameters dynamically generated links and two-dimensional field using a one-dimensional and two-dimensional "white noise." The algorithms for generating random two-dimensional object on the plane are used for modeling the movement of vehicles and consideration of other problems, the solution of which is Markov random field of the second order. Algorithm is synthesized for constructing two-dimensional real normal Markov field of the second order any orthogonal cross-sections of which are stationary stochastic Ornstein – Uhlenbeck process. It is shown that the proposed approach allows the synthesis of Markov random fields of higher order. Normal Markov fields of zero, first and second order, realized on the flat surface of two variables, have been modeled. In this article a sequence have been of embedded algorithms for generating random object of normal Markov field synthesized in the second row, any cross section which is orthogonal, are stationary stochastic Ornstein – Uhlenbeck processes, which differential equations are second order or higher. In this article an algorithm describes to increase the order of the random object – normal Markov field, any orthogonal cross sections which are stationary random Ornstein – Uhlenbeck process. The procedure of set out in article simulation highest disturbances acting on the tank systems and units is to select the parameters forming the dynamic links and two-dimensional fields and the use of one-dimensional and two-dimensional "white noise", the generation of which is carried out with the help of software packages.
Keywords: simulation of random disturbances, random process, Markov field, two-dimensional object, Ornstein – Uhlenbeck process, generating of random fields.

Введение. Танком называют боевую гусеничную машину высокой проходимости, в которой органически связаны подвижность, огневое могущество и броневая защита. Все три основных боевых качества танка взаимосвязаны, взаимозависимы и взаимообусловлены.

Основной танк Украины «Оплот» по праву считается одним из лучших танков мира. Дизель 6ТД – 2 мощностью 1200 л. с. обеспечивает высокие показатели подвижности при весе 48 т, не уступающих аналогичным показателям лучших зарубежных образцов. Низкий вес и, как следствие, низкое давление на грунт, составляющее $8.143\,\mathrm{Н} \cdot \mathrm{см}^{-2}$, обусловливают высокую проходимость отечественного основного танка. Пушка отечественного производства калибром 125 мм и высокая скорострельность, обеспечиваемая использованием отработанного механизма заряжения, определяют высокое огневое могущество танка «Оплот». Активная броневая защита обеспечивает низкую уязвимость танка на поле боя. Вместе с тем, многочисленные демонстрации украинских танков на выставках и салонах вооружений и военной техники показывают не только их высокую эффективность, но и некоторые недостатки, основными из которых являются:

- высокая дымность отработанных газов, обусловленная отсутствием в отечественных танковых дизелях 5ТДФ МА, 6ТД-1 и 6ТД-2 регулируемого наддува, обеспечивающего более полное сгорание топлива, и современной цифровой системы управления топливоподачей и подачей воздуха;
- пониженная маневренность и управляемость танка, обусловленная отсутствием бесступенчатого механизма поворота с системой автоматического управления движением танка;
- пониженная, по сравнению с новейшими зарубежными образцами, точность стрельбы из танковой пушки, обусловленная отсутствием современного цифрового стабилизатора оси канала ствола относительно линии прицеливания.

Перечисленные недостатки отечественных танков обусловлены отсутствием современной цифровой танковой информационно-управляющей системы (ТИУС) на основе бортовой цифровой вычислительной машины (БЦВМ). Для синтеза цифровой ТИУС необходима разработка имитационных моделей случайных внешних возмущений, действующих на танковые системы и агрегаты [1, 2], что является целью настоящей статьи.

Имитационное моделирование случайных возмущений. В основу предлагаемой методики построения имитационных моделей высших возмущений, действующих на танковые системы и агрегаты, положена известная теорема [3] о том, что спектральные плотности случайных входного $u(x)$ и выходного $h(x)$ сигналов динамического звена с передаточной функцией $W(s)$ связаны соотношением

$$S_h(\omega) = \left|W(j\omega)\right|^2 S_u(\omega), \tag{1}$$

где $W(j\omega)$ – амплитудно-частотная характеристика (АЧХ) динамического звена.

Предположим, что на вход динамического звена подан некоррелированный единичный «белый шум» $u(x)$ с нулевым математическим ожиданием, спектральная плотность которого равна $S_u(\omega)=1$. Тогда соотношение (1) принимает вид

$$S_h(\omega) = \left|W(j\omega)\right|^2, \tag{2}$$

т. е. спектральная плотность случайной функции $H(x)$ равна квадрату АЧХ динамического звена.

Допустим, что в результате стохастического анализа случайной функции $H(x)$ получена кривая её спектральной плотности $S_h(\omega)$. Тогда АЧХ динамического звена определяется формулой

$$\left|W(j\omega)\right| = \sqrt{S_h(\omega)}\ . \tag{3}$$

Динамическое звено с АЧХ, определяемой соотношением (3), преобразующее единичный «белый шум» $u(x)$ в случайную функцию $H(x)$ со спектральной плотностью $S_h(\omega)$, назовем формирующим динамическим звеном.

Пусть АЧХ формирующего динамического звена не содержит резонансных пиков и носит ниспадающий характер. Это означает, что формирующее динамическое звено является апериодическим звеном первого или второго порядка, а случайный процесс Орнштейна–Уленбека [4] описывается дифференциальным уравнением

$$(Tp+1)h(x) = \sigma_h u(x) \tag{4}$$

или

$$\left(T_1^2 p^2 + T_2 p + 1\right)h(x) = \sigma_h u(x)\,, \tag{5}$$

где T – постоянная времени формирующего апериодического динамического звена первого порядка;

T_1, T_2 – постоянные времени формирующего апериодического динамического звена второго порядка, причем

$$T_2^2 \ge 4T_1^2\,, \tag{6}$$

σ_h – интенсивность случайной функции $H(x)$, значение которой определяется соотношением

$$\sigma_h = \sqrt{S_h(0)}\ ; \tag{7}$$

p – символ дифференцирования.

Если АЧХ формирующего динамического звена содержит резонансный пик, то такое звено является колебательным, а случайный процесс Орнштейна–Уленбека описывается уравнением (5) при условии, накладываемом на значения постоянных времени,

$$T_2^2 < 4T_1^2\,. \tag{8}$$

Если же АЧХ формирующего динамического звена содержит два резонансных пика, то такое звено представляет собой последовательное соединение двух колебательных звеньев и случайный процесс описывается дифференциальным уравнением

$$\left(T_{11}^2 p^2 + T_{12} p + 1\right)\left(T_{21}^2 p^2 + T_{22} p + 1\right)h(x) = \sigma_h u(x)\,, \tag{9}$$

где постоянные времени T_{11}, T_{12}, T_{21}, T_{22} удовлетворяют условиям

$$T_{12}^2 < 4T_{11}^2\,,\ T_{22}^2 < 4T_{21}^2\,.$$

Интенсивность выходного сигнала формирующего динамического звена определяет его коэффициент усиления и вычисляется с помощью формулы (7). Рассмотрим методику вычисления постоянных времени формирующего динамического звена, используя кривую спектральной плотности его выходного сигнала.

Начнем с апериодического динамического звена первого порядка (4). Передаточная функция такого звена равна

$$W(s) = \frac{\sigma_h}{Ts+1}\,. \tag{10}$$

Подставим в (10) $s = j\omega$ и в полученном соотношении выделим действительную и мнимую части

$$W(j\omega) = \frac{\sigma_h}{1+\omega^2 T^2} - j\frac{\sigma_h \omega T}{1+\omega^2 T^2}\,.$$

Введем обозначения

$$U(\omega) = \operatorname{Re} W(j\omega) = \frac{\sigma_h}{1+\omega^2 T^2}\,;$$

$$V(\omega) = \operatorname{Im} W(j\omega) = -\frac{\sigma_h \omega T}{1+\omega^2 T^2}\,.$$

Тогда квадрат АЧХ рассматриваемого звена, представляющий собой в соответствии с (2) кривую спектральной плотности его выходного сигнала, определяется формулой

$$S_h(\omega) = U^2(\omega) + V^2(\omega) = \frac{\sigma_h^2}{1+\omega^2 T^2}. \qquad (11)$$

Через ω^* обозначим значение частоты, при котором $S_h(\omega^*) = 0.5 S_h(0) = 0.5\sigma_h^2$. Тогда в соответствии с (11) имеем

$$0.5\sigma_h^2 = \frac{\sigma_h^2}{1+(\omega^*)^2 T^2}. \qquad (12)$$

Из отношения (12) находим искомое значение T

$$T = \frac{1}{\omega^*}.$$

Формирующее апериодическое звено второго порядка содержит две неизвестные постоянные времени T_1 и T_2, удовлетворяющих условию (6). Квадрат АЧХ такого звена определяется соотношением

$$S_h(\omega) = \frac{\sigma_h^2}{\left(1-\omega^2 T_1^2\right)^2 + \omega^2 T_2^2}. \qquad (13)$$

Через ω_1^* обозначим значение частоты ω, при котором $S_h(\omega_1^*) = 0.5 S_h(0) = 0.5\sigma_h^2$, а через ω_2^* – значение ω, при котором $S_h(\omega_2^*) = 0.1 S_h(0) = 0.1\sigma_h^2$. Тогда для отыскания постоянных времени T_1 и T_2 имеем два уравнения

$$\begin{array}{l} 0.5\left\{\left[1-\left(\omega_1^*\right)^2 T_1^2\right] + \left(\omega_1^*\right)^2 T_2^2\right\} = 1 \\ 0.5\left\{\left[1-\left(\omega_2^*\right)^2 T_1^2\right] + \left(\omega_2^*\right)^2 T_2^2\right\} = 1 \end{array}. \qquad (14)$$

Формирующее колебательное звено второго порядка также содержит две неизвестные постоянные времени T_1 и T_2, удовлетворяющие условию (8). Через ω^* обозначим частоту, соответствующую резонансному пику АЧХ. Тогда амплитуда резонансного пика составляет $S_h(\omega^*)$. При $\omega = \omega^*$ знаменатель (13) достигает минимума, т. е. выполняется соотношение

$$\frac{\partial\left[\left(1-\omega^2 T_1^2\right)^2 + \omega^2 T_2^2\right]}{\partial\omega^2} = 0,$$

или

$$-2\left(1-\omega^2 T_1^2\right)^2 T_1^2 + T_2^2 = 0. \qquad (15)$$

Из уравнения (15) имеем

$$\left(\omega^*\right)^2 = \frac{2T_1^2 - T_2^2}{2T_1^4}. \qquad (16)$$

Подставим формулу (16) в соотношение (13). В результате получаем

$$\left(3T_1^2 T_2^2 - T_2^4\right)^2 S_h(\omega^*) = 2\sigma_h^2 T_1^4. \qquad (17)$$

Из соотношений (16) и (17) легко отыскать постоянные времени T_1 и T_2 колебательного формирующего звена.

Перейдем к отысканию постоянных времени динамического звена, формирующего случайный процесс, описываемый уравнением (9). Уравнение (9) описывает случайный момент нагрузки на коленчатом вале танкового дизеля [5]. Уравнение (9) четвертого порядка представим в виде системы двух уравнений второго порядка каждое

$$\left(T_{11}^2 p^2 + T_{12} p + 1\right) h_1(x) = \sigma_h u(x); \qquad (18)$$

$$\left(T_{21}^2 p^2 + T_{22} p + 1\right) h(x) = h_1(x). \qquad (19)$$

Через ω_1^* и ω_2^* обозначим значения частот, соответствующих первому и второму резонансным пикам АЧХ, а через $S_h\left(\omega_1^*\right)$ и $S_h\left(\omega_2^*\right)$ – амплитуды резонансных пиков АЧХ, соответствующих частотам ω_1^* и ω_2^*. Тогда в соответствии с формулами (16) и (17), для отыскания постоянных времени T_{11}, T_{12}, T_{21} и T_{22} имеем следующие соотношения:

$$\left(\omega_1^*\right)^2 = \frac{2T_{11}^2 - T_{12}^2}{2T_{11}^4}; \qquad (20)$$

$$\left(3T_{11}^2 T_{12}^2 - T_{12}^4\right)^2 S_h(\omega_1^*) = 2\sigma_h^2 T_{11}^4; \qquad (21)$$

$$\left(\omega_2^*\right)^2 = \frac{2T_{21}^2 - T_{22}^2}{2T_{21}^4}; \qquad (22)$$

$$\left(3T_{21}^2 T_{22}^2 - T_{22}^4\right)^2 S_h(\omega_2^*) = 2\sigma_h^2 T_{21}^4. \qquad (23)$$

Для стохастической оценки плавности хода танка необходимо решить задачу пространственного моделирования двумерного поля на плоской поверхности с заданными стохастическими характеристиками. Из всего многообразия возможных вариантов и моделей двумерных случайных поверхностей наиболее предпочтительным является нормальное марковское двумерное поле (НМД-поле), поскольку данный объект удобен для анализа и любое его ортогональное сечение является стационарным ОУ-процессом [5].

НМД-поле описывается в прямоугольнике $\{x \in [0;a],\ y \in [0;b]\}$ дифференциальным уравнением Ланжевена [5]

$$\left(T_{11}^2 p^2 + T_{12} p + 1\right)\left(T_{21}^2 p^2 + T_{22} p + 1\right) h(x,y) = \sigma_h u(x,y), \qquad (24)$$

где $h(x,y)$ – амплитуда поля $H(x,y)$;

$u(x,y)$ – случайное поле, обладающее свойствами гауссовского двумерного «белого шума» единичность интенсивности.

Пусть γ_{1x}, γ_{2x} – решения уравнения

$$T_{11}^2\gamma^2 + T_{12}\gamma + 1 = 0, \qquad (25)$$

а γ_{1y}, γ_{2y} – решения уравнения

$$T_{21}^2\gamma^2 + T_{22}\gamma + 1 = 0. \qquad (26)$$

ISSN 2079-0023 (print)
ISSN 2410-2857 (online)

Тогда уравнение Ланжевена (24) можно представить в виде системы

$$\left(\frac{\partial}{\partial x}+\gamma_{1x}\right)\left(\frac{\partial}{\partial y}+\gamma_{1y}\right)h_1(x,y)=\sigma_h u(x,y)\,; \qquad (27)$$

$$\left(\frac{\partial}{\partial x}+\gamma_{2x}\right)\left(\frac{\partial}{\partial y}+\gamma_{2y}\right)h(x,y)=h_1(x,y)\,. \qquad (28)$$

Из рассмотрения уравнений (27), (28) следует, что для НМД-поля второго порядка $H(x,y)$ производящим является НМД-поле $H_1(x,y)$ первого порядка, а для НМД-поля $H_1(x,y)$ первого порядка производящим является поле «белого шума» $H_0(x,y)=u(x,y)$ нулевого порядка.

Решения системы дифференциальных уравнений (27) и (28) записываются [7]

$$\begin{aligned} h_1(x,y) &= \exp\left(-\gamma_{1x}x-\gamma_{1y}y\right)h_1(0,0)+\\ &+\sqrt{2\gamma_{1x}}\sigma_h\int_0^x \exp\left[-\gamma_{1x}(x-x')\right]u(x',0)dx'+\\ &+\sqrt{2\gamma_{1y}}\sigma_h\int_0^y \exp\left[-\gamma_{1y}(y-y')\right]u(0,y')dy'+\\ &+\sqrt{4\gamma_{1x}\gamma_{1y}}\sigma_h\times\\ &\times\int_0^x\int_0^y \exp\left[-\gamma_{1x}(x-x')-\gamma_{1y}(y-y')\right]u(x',y')dx'dy', \end{aligned} \qquad (29)$$

$$\begin{aligned} h(x,y) &= \exp\left(-\gamma_{2x}x-\gamma_{2y}y\right)h(0,0)+\\ &+\sqrt{2\gamma_{2x}}\sigma_h\int_0^x \exp\left[-\gamma_{2x}(x-x')\right]h_1(x',0)dx'+\\ &+\sqrt{2\gamma_{2y}}\sigma_h\int_0^y \exp\left[-\gamma_{2y}(y-y')\right]h_1(0,y')dy'+\\ &+\sqrt{4\gamma_{2x}\gamma_{2y}}\sigma_h\times\\ &\times\int_0^x\int_0^y \exp\left[-\gamma_{2x}(x-x')-\gamma_{2y}(y-y')\right]h_1(x',y')dx'dy'. \end{aligned} \qquad (30)$$

Если предположить, что стохастические характеристики НМД-поля одинаковы в направлениях x и y, то $T_{11}=T_{21}$, $T_{12}=T_{22}$, $\gamma_{1x}=\gamma_{1y}=\gamma_1$, $\gamma_{2x}=\gamma_{2y}=\gamma_2$. Значения констант соотношений (29) и (30), определяющих НМД-поле для различных поверхностей движения, приведены в табл. 1 [8].

Таблица 1 – Значения констант соотношений (29)–(30)

Тип поверхности	σ_h	γ_1	γ_2
Асфальтобетон	0.012	$-0.192+j\cdot 0.400$	$-0.192-j\cdot 0.400$
Мостовая	0.024	$-0.106+j\cdot 0.661$	$-0.106-j\cdot 0.661$
Грунтовая дорога	0.105	$-0.337+j\cdot 1.010$	$-0.337-j\cdot 1.010$

Алгоритм генерации нормального марковского двумерного поля второго порядка.

С помощью решений (29)–(30) можно построить числовой алгоритм генерации НМД-поля $H(x,y)$ [9]. Этот алгоритм так же, как и для поля $H_1(x,y)$, будет иерархическим алгоритмом генерации значений в узлах случайного нормального стационарного марковского поля в прямоугольной области со сторонами a и b. Для такого же прямоугольника с вершиной в точке с координатами $(0;0)$ на координатной плоскости xOy обозначим сетку $\{0\le n\le N,\ 0\le m\le M\}$ узлов с шагом Δ_x по оси Ox и с шагом Δ_y по оси Oy, для которых $N\Delta_x=a$ и $M\Delta_y=b$.

Тогда искомый иерархический алгоритм генерации значений $\{h_{n,m},\ 0\le n\le N,\ 0\le m\le M\}$ НМД-поля $H(x,y)$ можно задать такими шагами:

Этап 1. Генерация НМД-поля первого порядка:

Шаг 1. Генерация значения в вершине, $(n=0,\ m=0)$:

$$a_{0,0}=u_{0,0}\,. \qquad (31)$$

Шаг 2. Генерация значений ОУ-процесса (в общем случае комплекснозначного) вдоль x-границы прямоугольника, $(n>0, m=0)$:

$$a_{n+1,0}=p_1a_{n,0}+\sqrt{1-p_1^2}\,u_{n+1,0}\,. \qquad (32)$$

Шаг 3. Генерация значений ОУ-процесса (в общем случае комплекснозначного) вдоль y-границы прямоугольника, $(n=0, m>0)$:

$$a_{0,m+1}=q_1a_{0,m}+\sqrt{1-q_1^2}\,u_{0,m+1}\,. \qquad (33)$$

Шаг 4. Последовательное (слева-направо и послойно) заполнение значениями внутренних узлов прямоугольника, $(n>0,\ m>0)$:

$$\begin{aligned} a_{n+1,m+1} &= p_1a_{n,m+1}+q_1a_{n+1,m}-p_1q_1a_{n,m}+\\ &+\sqrt{(1-p_1^2)(1-q_1^2)}\,u_{n+1,m+1}. \end{aligned} \qquad (34)$$

Шаг 5. Нормирование полученного поля, $(n\ge 0;\ m\ge 0)$:

$$b_{n,m}=\frac{a_{n,m}}{\sqrt{4\gamma_{1,x}\gamma_{1,y}}}\,. \qquad (35)$$

В соотношениях (31)–(35) $p_1=\exp(-\gamma_{1,x}\Delta_x)$, $q_1=\exp(-\gamma_{1,y}\Delta_y)$, где $\gamma_{1,x}$ и $\gamma_{1,y}$ – первая пара парциальных декрементов, Δ_x и Δ_y – шаги узлов вдоль осей Ox и Oy.

Этап 2. Генерация НМД-поля второго порядка:

Шаг 6. Генерация значения в вершине, $(n=0,\ m=0)$:

$$g_{0,0}=b_{0,0}. \qquad (36)$$

Шаг 7. Генерация значений ОУ-процесса (в общем случае комплекснозначного) вдоль x-границы прямоугольника, $(n > 0, m = 0)$:

$$g_{n+1,0} = p_2 g_{n,0} + \sqrt{1 - p_2^2}\, b_{n+1,0}. \qquad (37)$$

Шаг 8. Генерация значений ОУ-процесса (в общем случае комплекснозначного) вдоль y-границы прямоугольника, $(n = 0, m > 0)$:

$$g_{0,m+1} = q_2 g_{0,m} + \sqrt{1 - q_2^2}\, b_{0,m+1}. \qquad (38)$$

Шаг 9. Последовательное (слева-направо и послойно) заполнение значениями внутренних узлов прямоугольника $(n > 0,\ m > 0)$:

$$\begin{aligned} g_{n+1,m+1} &= p_2 g_{n,m+1} + q_2 g_{n+1,m} - p_2 q_2 g_{n,m} + \\ &+ \sqrt{(1 - p_2^2)(1 - q_2^2)}\, u_{n+1,m+1}. \end{aligned} \qquad (39)$$

Шаг 10. Нормирование полученного поля $(n \geq 0;\ m \geq 0)$:

$$h_{n,m} = \sigma_h g_{n,m} / \sqrt{4\gamma_{2,x}\gamma_{2,y}}. \qquad (40)$$

В выражениях (36)–(40) декрементные множители $p_2 = \exp(-\gamma_{2,x}\Delta_x)$, $q_2 = \exp(-\gamma_{2,y}\Delta_y)$, где $\gamma_{2,x}$ и $\gamma_{2,y}$ – вторая пара парциальных декрементов.

Используя соотношения (31)–(40) осуществим построение поля «белого шума» $u(x, y)$ нулевого порядка и НМД-полей второго порядка $H(x, y)$, соответствующих различным типам поверхностей движения танка. Эти поля представлены на рис. 1–4 с шагом по координатам x и y равным 1 м для заданных размеров (50×50).

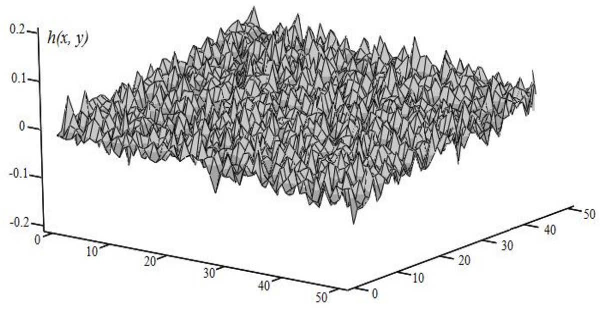

Рис. 1 – Порождающее НМД-поле нулевого порядка

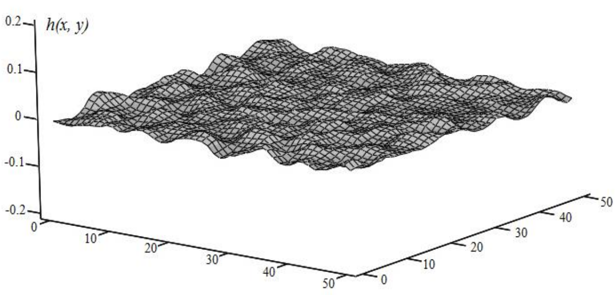

Рис. 2 – Порожденное НМД-поле второго порядка $h(x, y)$ (асфальтобетон)

Выводы. Изложенная в статье методика имитационного моделирования высших возмущений, действующих на танковые системы и агрегаты, состоит в выборе параметров формирующих динамических звеньев двумерных полей и использовании одномерных и двумерных «белых шумов». Построены НМД-поля нулевого и второго порядков, реализованные на плоской поверхности двух переменных при различных параметрах.

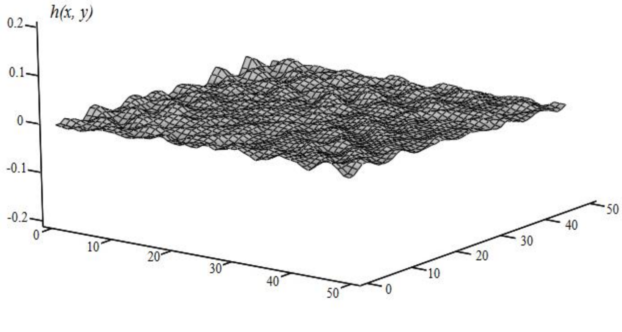

Рис. 3 – НМД-поле второго порядка $h(x, y)$ (мостовая)

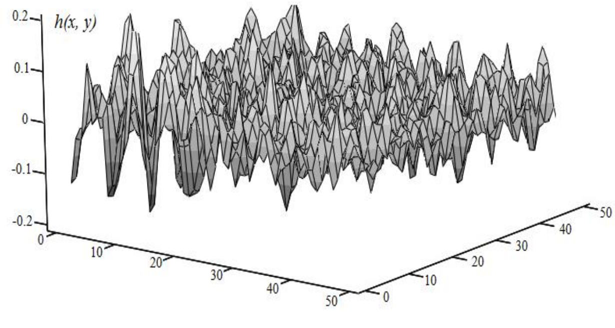

Рис. 4 – НМД-поле второго порядка (грунтовая дорога)

Список литературы

1. *Александров Е. Е.* Автоматизация отечественных объектов бронетанковой техники / *Е. Е. Александров, Т. Е. Александрова* // Матеріали XXII міжнар. конф. з автоматичного управління «Автоматика 2015». – Одеса. ТЕС, 2015. – С. 200–202.
2. *Александров Е. Е.* Параметрический синтез цифровой системы стабилизации танковой пушки / *Е. Е. Александров, Т. Е. Александрова* // Международный научно-технический журнал «Проблемы управления и информатики». – 2015.– № 6. – С. 5–20.
3. *Вентцель Е. С.* Теория вероятностей / *Е. С. Вентцель.* – М. : Физматгиз, 1964. – 576 с.
4. *Мазманишвили А. С.* Алгоритм генерации нормального марковского поля на поверхности идеального цилиндра / *А. С. Мазманишвили* // Электронное моделирование. – 1998. – Т. 20. – №. 6. – С. 65–69.
5. *Александров Е. Е.* Динамика транспортно-тяговых колесных и гусеничных машин / *Е. Е. Александров, Д. О. Волонцевич, А. Н. Туренко.* – Харьков : ХНАДУ, 2001. – 642 с.
6. *Александрова Т. Е.* Стохастическая оценка плавности хода многоопорного транспортного средства / *Т. Е. Александрова, М. Д. Борисюк, А С. Мазманишвили* // Доповіді НАН України. – 2013. – № 6. – С. 52–59.
7. *Александрова Т. Е.* Стохастическое моделирование поверхности движения объектов бронетанковой техники / *Т. Е. Александрова, А. С. Мазманишвили* // Системи обробки інформації. – 2012. – Вип. 2 (100). – С. 63–66.
8. *Александрова Т. Е.* Построение случайных поверхностей движения объектов бронетанковой техники / *Т. Е. Александрова, А. С. Мазманишвили* // Системи озброєння і військова техніка. – 2012. – №. 1 (29). – С. 68-71.
9. *Мазманишвили А. С.* Повышение порядка двумерных марковских полей / *А. С. Мазманишвили, А. Ю. Сидоренко* // Вісник НТУ «ХПІ». Серія: Системний аналіз, управління та інформаційні технології. – Харків : НТУ «ХПІ», 2013. – № 3 (977). – С. 110–120.

References (transliterated)

1. Aleksandrov E. E., Aleksandrova T. E., Avtomatysatsyiya otechestvennikh ob'ektov bronetankovoy tehniky [The Automation of the Ukrainian armored vehicles]. *Materialy XXII mignarodnoyi konferencii s avtomatychnogo upravlinnya "Avtomatika 2015"*. [Materials of the XXII International Conference on Automatic Control "Automatics 2015"]. Odesa, 2015, pp. 200–202.
2. Aleksandrov E. E., Aleksandrova T. E., Parametrycheskyy sintez tsyfrovoy systemy stabilizatsyy tankovoy pushki [Parametric synthesis of digital systems tank gun stabilization]. *Mezhdunarodnyy nauchno-tekhnycheskiy zhurnal "Problemy upravleniya i informatiki"*. [International scientifically technical journal "Problems of Management and Informatics"]. 2015, no. 6, pp. 5–20.
3. Ventsel' E. S. *Teoriya veroyatnostey* [The theory of Probability]. Moscow, Fismatgis Publ., 1964, 576 p.
4. Mazmanishvaili A. S. Algorytm generatsyy normal'nogo markovskogo polya na poverhnosti ideal'nogo tsylindra [The algorithm of generation of Markovski normal field on the surface of an ideal cylinder]. *Elektronnoe modelirovanie* [Electronic modeling]. 1998, vol. 20, no. 6, pp. 65–69.
5. Aleksandrov E. E., Volontsevich D. O., Turenko A. N. *Dinamika transportno-tyagovyh kolesnyh i gusenichnyh mashyn* [The dynamics of transport and traction of wheeled and tracked vehicles]. Kharkiv, HNADU Publ., 2001, 642 p.
6. Aleksandrova T. E., Borisyuk M. D., Mazmanishvaili A. S. Stohastitcheskaya otsenka plavnosti hoda mnogoopornogo transportnogo sredstva [The stochastic evaluation of multisupport ride vehicle]. *Dopovidi NAN Ukrainy* [Reports of NAS of Ukraine]. 2013, no. 6, pp. 52–59.
7. Aleksandrova T. E., Mazmanishvaili A. S. Stohastitcheskoe modelirovanie poverhnosti dvigeniya ob'ektov bronetankovoy tehniki [The stochastic modeling of surface movement of armored vehicles]. *Sistemy obrobky informatsii* [The information processing systems]. 2012, no. 2 (100), pp. 63–66.
8. Aleksandrova T. E., Mazmanishvaili A. S. Postroenye sluchaynyh poverhnostey dvyizheniya ob'ektov bronetankovoy tehniky [The construction of random surface movement of armored vehicles] *Systemy ozbroennya i viys'kova tehnika* [The Weapons systems and military equipment]. 2012, no. 1 (29), pp. 68–71.
9. Masmanishvili A. S., Sydorenko G. Y. Povyshenye poryadka dvumernyh markovskih poley [Algorithm of increasing of two-dimensional Markov field's order]. *Visnyk NTU "KhPI"* [Bulletin of the National Technical University "KhPI"]. Kharkov, NTU "KhPI" Publ., 2013, no. 3 (977), pp. 110–120.

Поступила (received) 05.12.2016

Бібліографічні описи / Библиографические описания / Bibliographic descriptions

Імітаційне моделювання випадкових збурень при вирішенні задач параметричного синтезу інформаційно-керованих систем/ Т. Є. Александрова, О. С. Мазманішвілі, Г. Ю. Сидоренко // Вісник НТУ «ХПІ». Серія: Системний аналіз, управління та інформаційні технології. – Х. : НТУ «ХПІ», 2016. – № 45 (1217). – С. 3–8. – Бібліогр.: 9 назв. – ISSN 2079-0023.

Имитационное моделирование случайных возмущений при решении задач параметрического синтеза танковых информационно-управляющих систем / Т. Е. Александрова, А. С. Мазманишвили, А. Ю. Сидоренко // Вісник НТУ «ХПІ». Серія: Системний аналіз, управління та інформаційні технології. – Харків : НТУ «ХПІ», 2016. – № 45 (1217). – С. 3–8. – Библиогр.: 9 назв. – ISSN 2079-0023.

The simulation of random perturbations in solving the problem of parametric synthesis tank management information systems / T. E. Aleksandrova, A. S. Masmanishvili, G. Y. Sydorenko // Bulletin of NTU "KhPI". Series: System analysis, control and information technology. – Kharkov : NTU "KhPI", 2016. – No. 45 (1217). – P. 3–8. – Bibliogr.: 9. – ISSN 2079-0023.

Відомості про авторів / Сведения об авторах / About the Authors

Александрова Тетяна Євгенівна – доктор технічних наук, доцент, Національний технічний університет «Харківський політехнічний інститут», кафедри системного аналізу та управління; тел.: (099) 089-90-50; e-mail: aleksandrova.t.ye@gmail.com.

Александрова Татьяна Евгеньевна – доктор технических наук, доцент, Национальный технический университет «Харьковский политехнический институт», профессор кафедры системного анализа и управления; тел.: (099) 089-90-50; e-mail: aleksandrova.t.ye@gmail.com.

Aleksandrova Tetyana Evgeniivna – Doctor of Technical Sciences, Docent, National Technical University "Kharkiv Polytechnic Institute", Professor at the Department of analysis of the systems and management; tel.: (099) 089-90-50; e-mail: aleksandrova.t.ye@gmail.com.

Мазманішвілі Олександр Сергійович – доктор фізико-математичних наук, професор, старший науковий співробітник ННЦ ХФТІ, м. Харків; тел.: (067) 799 38 64; e–mail: mazmanishvili@gmail.com.

Мазманишвили Александр Сергеевич – доктор физико-математических наук, профессор, старший научный сотрудник ННЦ ХФТИ, г. Харьков; тел.: (067) 799-38-64; e-mail: mazmanishvili@gmail.com.

Mazmanishvili Oleksandr Serhiyovych – Doctor of Physical and Mathematical Sciences, Full Professor, senior staff scientist NNC KhFTI, Kharkiv; tel.: (067) 799-38-64; e-mail: mazmanishvili@gmail.com.

Сидоренко Ганна Юріївна – кандидат технічних наук, доцент, Національний технічний університет «Харківський політехнічний інститут», доцент кафедри системного аналізу та управління; тел.: (095) 392-54-39; e-mail: sau123@ukr.net.

Сидоренко Анна Юрьевна – кандидат технических наук, доцент, Национальный технический университет «Харьковский политехнический институт», доцент кафедры системного анализа и управления; тел.: (095) 392-54-39; e-mail: sau123@ukr.net.

Sydorenko Ganna Yurijivna – Candidate of Technical Sciences, Docent, National Technical University "Kharkiv Polytechnic Institute", Associate Professor at the Department of analysis of the systems and management; tel.: (095) 392-54-39; e-mail: sau123@ukr.net.