

УДК 681.192.4

**В.О. Хорошко**, доктор технических наук, профессор,  
профессор Национального авиационного университета, г. Киев,  
**Ю.Е. Хохлачева**, кандидат технических наук, доцент,  
доцент Национального авиационного университета, г. Киев,  
**А.С. Деньчук**, студент Национального авиационного университета, г. Киев,  
**И.В. Финчук**, студент Национального авиационного университета, г. Киев

## ВОССТАНОВЛЕНИЕ ВИДЕОИЗОБРАЖЕНИЙ, ПОСТУПАЮЩИХ С БЕСПИЛОТНЫХ ЛЕТАТЕЛЬНЫХ АППАРАТОВ

*В данной статье рассмотрена весьма актуальная и важная в настоящее время тема, а именно разработка методов восстановления видеоизображений с беспилотных летательных аппаратов. Представлена комплексная имитационная модель, созданная для исследования процесса восстановления дискретных изображений и позволяющая с максимально возможной точностью воссоздавать процессы функционирования исследуемой системы адаптивного инверсного восстановления дискретных изображений с внутренним шумом в условиях случайных и неслучайных помех.*

**Ключевые слова:** беспилотные летательные аппараты, восстановление видеоизображений, методы восстановления видеоизображений, дискретные изображения.

*У цій статті розглянуто досить актуальну й важливу наразі тему, а саме розробку методів відновлення відеозображень, що надходять з безпілотних літальних апаратів. Представлено комплексну імітаційну модель, яка створена для дослідження процесу відновлення дискретних зображень і дозволяє якомога точніше відтворювати процеси функціонування досліджуваної системи адаптивного інверсного відновлення дискретних зображень із внутрішнім шумом в умовах випадкових і невідповідних перешкод.*

**Ключові слова:** безпілотні літальні апарати, відновлення відеозображень, методи відновлення відеозображень, дискретні зображення.

*In this paper, we consider a very relevant and important topic at the present time, namely the development of methods for restoring video images from unmanned aerial vehicles. A complex simulation of model designed to study the process of reconstruction of discrete images is presented and allows to reconstruct with the greatest possible accuracy the processes of functioning of the system of adaptive inverse reconstruction of discrete images with internal noise under conditions of random and nonrandom interference.*

**Keywords:** unmanned aerial vehicles, video image restoration, video image recovery methods, discrete images.

### Введение

Широкое применение беспилотных летательных аппаратов (БПЛА) в военных конфликтах XXI века поставило целый ряд вопросов относящихся к эффективному

их применению. Первым из которых, является получение, насколько это возможно, идеального изображения контролируемых объектов [1].

При этом следует учитывать широкое применение средств радиоэлектронной борьбы, которые значительно влияют на внешнюю электромагнитную обстановку, а так как к полученной видеоинформации предъявляются жесткие требования, которые заключаются в оперативности, точности и достоверности их получении. Поэтому необходимо учитывать, что противник будет осуществлять интенсивное противодействие путем постановки различных помех (неслучайные воздействия) и то, что на данной территории существуют случайные радиоэлектронные воздействия на видеоинформацию. Они возникают от различного рода систем связи, радиолокационных станций и другой электронной техники. Все эти виды помех (возмущений) необходимо учитывать при обработке и восстановлении получаемых изображений [2; 3].

Поэтому разработка методов восстановления видеоизображений, поступающих с БПЛА представляется весьма актуальной и важной в настоящее время.

### Основная часть

Основу любой имитационной модели составляет воспроизведение процессов, происходящих в исследуемой системе путем искусственной генерации случайных величин, формирующих данные процессы [4]. Алгоритм моделирования в этом случае представляет комбинацию детерминированных и стохастических зависимостей. Такая имитационная модель с максимально возможной точностью воссоздает процессы функционирования исследуемой системы адаптивного инверсного восстановления дискретных изображений с внутренним шумом в условиях случайных и неслучайных помех и позволяет судить о правильности разработанных теоретических положений [5, 6].

Для исследования процесса восстановления дискретных изображений необходимо создать комплексную модель, основу которой должны составлять следующие модели [7]:

- модель наблюдаемого изображения, как результат дискретной свертки входного изображения и оценочной матрицы импульсного отклика системы, сформированной методом прямого или обратного моделирования;
- модель инверсного оператора восстановления;
- модель случайных и неслучайных возмущений (помех) оператора восстановления;
- модель внутреннего шума системы.

В общем случае процесс восстановления изображения методом инверсной фильтрации имеет вид:

$$\hat{X}(x, y) = W(x, y) * Y(x, y) \quad (1)$$

$$Y(x, y) = G(x, y) * X(x, y) + \theta(x, y), \quad (2)$$

где  $Y(x, y)$  – изображение, которое наблюдается;  $X(x, y)$  – восстановление;  $X(x, y)$  – идеальное изображение;  $\theta(x, y)$  – шум системы;  $G(x, y)$  – оператор воздействия возмущения (помехи);  $W(x, y)$  – оператор восстановления; \* – символ свертки. Представление процесса инверсного восстановления дискретных изображений в

приемлемо для имитационного моделирования на ЭВМ виде предусматривается формирование массивов начальных данных и вычисление дискретной свертки матрицы оператора воздействия помехи (возмущения) или искажения  $G$  и оператора восстановления  $W = \hat{G}^{-1} = (G + \Delta G)^{-1}$  и на фоне стохастических процессов и в выражении (2) и  $\Delta G$  в выражении (1).

Разработка имитационных моделей стохастических процессов  $\theta$  и  $\Delta G$ , которые представляют собой внутренний шум  $\theta$  и случайные или неслучайные возмущения шумы  $\Delta G$  системы восстановления дискретных изображений, предполагает обращение к независимым генераторам случайных чисел.

Имитационное моделирование процесса инверсного восстановления дискретного наблюдаемого изображения было проведено на фоне  $N$ -мерной шумовой выборки. При этом качество инверсного восстановления дискретного изображения  $X$ , описанного моделью (1), может оцениваться выражением:

$$\hat{M}(\hat{X}) = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N \hat{X}(i),$$

где  $\hat{X}(i)$  – восстановленное дискретное изображение;  $N$  – размерность выборки;  $M$  – символ усреднения;  $i$  – номер выборки,  $i=1, 2, 3, \dots, N$ .

В классической постановке задачи инверсного восстановления дискретных изображений в условиях случайных и неслучайных помех (возмущений) с адаптивным выбором регуляризирующей меры, которая ограничена необходимостью определения текстовых входных процессов [8, 9]. Как известно из [9], необходимые статические законы распределения случайных процессов формируются в результате соответствующего преобразования случайной последовательности  $A(i)$ , распределение которой  $p\{A(i)\}$  равномерно на интервале  $[0 \div 1]$ :

$$p^*\{A(i)\} = \begin{cases} 1; & A(i) \in [0, 1]; \\ 0; & A(i) \notin [0, 1]. \end{cases}$$

В данном случае функция плотности распределения случайных или неслучайных помех (возмущений)  $\Delta G = [\Delta g_{ij}]$  в инверсном операторе восстановления  $\hat{G}^{-1} = (G + \Delta G)^{-1}$  имеет вид:

$$p(\Delta g_{ij}) = \begin{cases} (2a)^{-1} n p u |\Delta g_{ij}| \leq a; \\ 0 n p u |\Delta g_{ij}| > a. \end{cases}$$

Аппроксимация распределения случайных или неслучайных помех (возмущений)  $\Delta G$  в инверсном операторе восстановления  $\hat{G}^{-1} = (G + \Delta G)^{-1}$  равномерным законом распределения случайных дискретных величин является наиболее корректным их представлением. Тогда поиск решения задачи инверсного восстановления задачи изображений происходит в условиях априорной неопределенности. Поэтому для имитационного моделирования стохастических процессов с заданными

дисперсиями  $\sigma_q^2$  и  $\sigma_g^2$  в системе восстановления (1) необходимо сформировать две случайные последовательности  $\theta(i)$  и  $\Delta G(i)$  с равномерным распределением значений случайных величин в этих последовательностях, генерирование номерных производится независимым генератором. Внутренний шум  $\theta(i)$ , равномерные на интервале  $\{-a \dots a\}$  случайные и неслучайные помехи (возмущения) оператора восстановления  $\Delta G(i)$  формируется путем обращения к независимым генераторам случайных чисел с равномерным законом распределения на интервале  $[0,1]$  по следующим алгоритмам:

$$\theta(i) = S_1 [2A(i) - 1], \quad (3)$$

$$\Delta G(i) = [\Delta g_{mm}(i)] = S_2 [2B(i) - 1], \quad (4)$$

где  $\{A(i)\} \in [0,1]$  и  $\{B(i)\} \in [0,1]$  – результаты обращения к независимым генераторам случайных чисел.

Обозначим случайные или неслучайные помехи (возмущения)  $\Delta G$  и через неперемennую  $X(i) \in [0,1]$ . В этом случае формирование случайной последовательности  $X(i) \in [0,1]$  в заданном диапазоне производится согласно выражения:

$$X[i] = b(2C(i) - 1), \quad (5)$$

здесь  $C(i) \in [0,1]$ . Случайный процесс, описываемый выражением (5), имеет нулевое математическое ожидание, а его дисперсия равна

$$\sigma_x^2 = \int_0^1 b^2 [2C(i) - 1]^2 p(C) dC = \frac{b^2}{3}. \quad (6)$$

Для случая формирования равно вероятного закона распределения случайной величины на заданном интервале с нулевым математическим ожиданием плотность распределения  $p(C)$  преобразуется в  $p(X)$ .

Отсюда коэффициенты  $S_1$  и  $S_2$  в выражениях (3) и (4) определяют необходимые дисперсии моделируемых процессов и равняются:

$$S_1 = \sqrt{3}\sigma_\theta, \quad (7)$$

$$S_2 = \frac{1}{N} \sqrt{3}\sigma_\theta G. \quad (8)$$

Условия, описанные выражениями (7) и (8), позволяют сформировать равновероятные законы распределения случайных величин  $\theta$  и  $\Delta G$  с заданной дисперсией, равной (6), и нулевым математическим ожиданием. С увеличением числа наблюдений ( $i$ ) случайной величины  $X(i)$ , сформированный согласно выражению (5) процесс, имеет корреляционную матрицу диагонального вида (рис. 1).

$$M \{ \Delta G \Delta G^T \} = \frac{1}{m} \sum_{i=1}^m \Delta G(i) \Delta G^T(i).$$

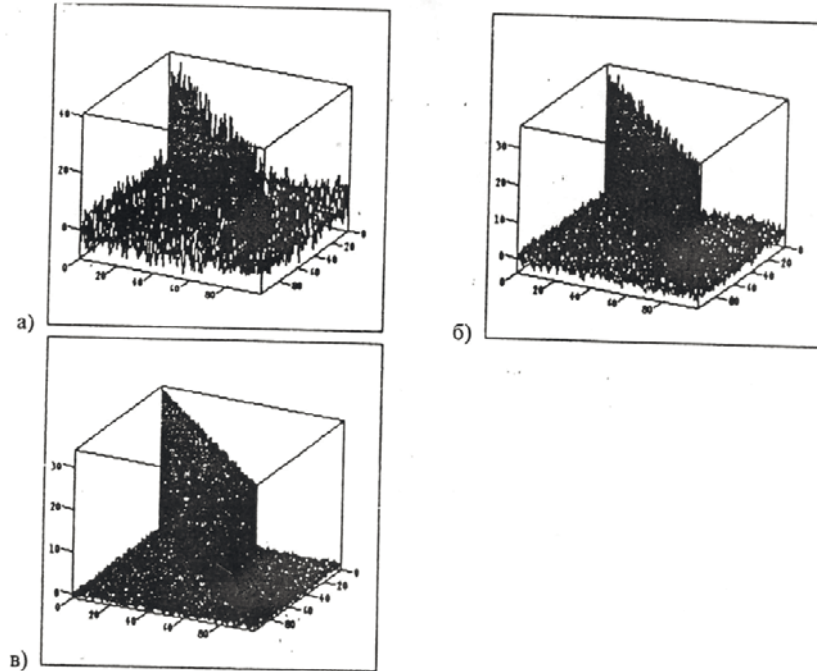


Рис. 1. Корреляционная матрица  $M \{ \Delta G \Delta G^T \}$  случайных или неслучайных помех (возмущений)  $\Delta G : M \{ \Delta g_{ij} \}$  а)  $i=10$ , б)  $i=50$ , в)  $i=100$ .

При  $S_2=1$  в выражении (4) значения диагональных элементов матрицы  $M \{ \Delta G \Delta G^T \}$  размерности  $N=100$  приближаются к заданной дисперсии случайного процесса  $\Delta G : M \{ \Delta G \Delta G^T \} = N \sigma_G^2 * 1 = 33$ , где  $\sigma_G^2 = S_2^2 / 3$ .

На рис. 2, 3, 4 приведены корреляционные матрицы  $M \{ \Delta G \Delta G^T \}$  для  $\sigma_G^2 = 10^{-6}$  при рис. 2  $i=10$ ; рис. 3  $i=50$  и рис. 4  $i=100$ .

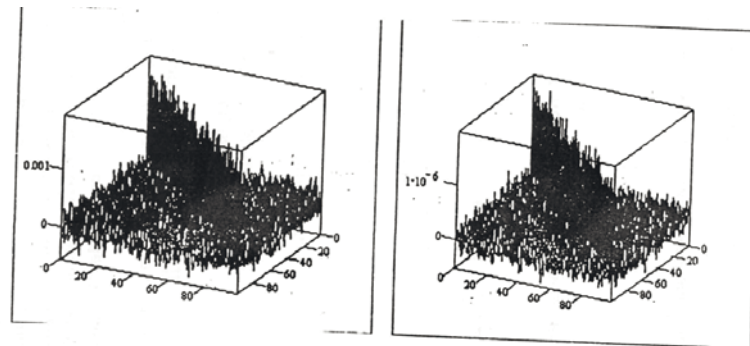


Рис. 2 Корреляционная матрица  $M \{ \Delta G \Delta G^T \}$  случайных или неслучайных помех (возмущений)  $\Delta G$  равномерного закона с заданной дисперсией и числом усреднений  $i=10$ .

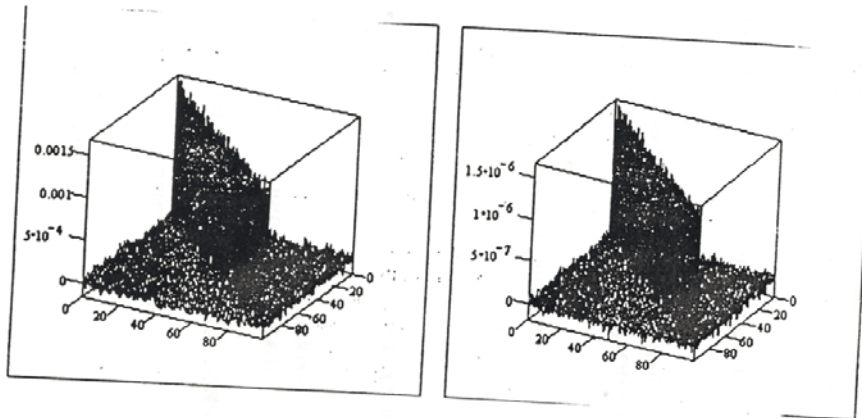


Рис. 3. Корреляционная матрица  $M \{ \Delta G \Delta G^T \}$  случайных или неслучайных помех (возмущений)  $\Delta G$  равномерного закона с заданной дисперсией и числом усреднений  $i=50$ .

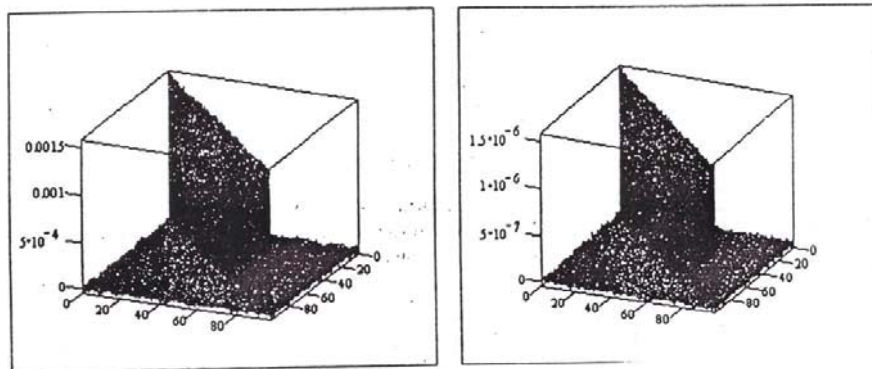


Рис. 4. Корреляционная матрица  $M \{ \Delta G \Delta G^T \}$  случайных или неслучайных помех (возмущений)  $\Delta G$  равномерного закона с заданной дисперсией и числом усреднений  $i=100$ .

### Выводы

Разработка методов восстановления видеоизображений, поступающих с БПЛА, является весьма актуальной и важной темой в настоящее время. Данная комплексная модель создана для исследования процесса восстановления дискретных изображений. Основу модели составляет воспроизведение процессов, происходящих в исследуемой системе путем искусственной генерации случайных величин, формирующих данные процессы. Алгоритм моделирования в этом случае представляет комбинацию детерминированных и стохастических зависимостей. Такая имитационная модель с максимально возможной точностью воссоздает процессы функционирования исследуемой системы адаптивного инверсного восстановления дискретных изображений с внутренним шумом в условиях случайных и неслучайных помех и позволяет судить о правильности разработанных теоретических положений.

### СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

1. *Василин Н.Я.* Беспилотные летательные аппараты. Минск: ООО "Попурри", 2003. 272 с.
2. *Маларчук М.В., Слюсар В.І.* Перспективні інформаційні технології зв'язку з безпілотними літальними апаратами. Сучасні інформаційні технології у сфері безпеки та оборони. 2010. №1 (7). С. 47–51.

3. Даник Ю.Г., Позняков П.В. Дослідження та оптимізація процесів передавання інформації в радіолініях зв'язку з безпілотними літальними апаратами. Зб. Наук. Праць ЖВУ НАУ. 2010. Вып. 5. С. 42–52.
4. Адомнан Дж. Стохастические системы. Москва: Мир, 1987. 376 с.
5. Применение цифровой обработки сигналов / под. ред. Э. Оппенгейма. Москва: Мир, 1980. 552 с.
6. Даджион Д., Мерсеро Р. Цифровая обработка многомерных сигналов. Москва: Мир, 1988. 488 с.
7. Прэтт У., Дуксенко Н.А. Цифровая обработка изображений. Москва: Мир, 1982. 310 с.
8. Хорошко В.А. Алгоритм восстановления изображений, получаемых с беспилотных летательных аппаратов. Математика та математичні методи в моделюванні. Т. 6. № 1, 2016. С. 5–11.
9. Фу К. Структурные методы в распознавании образов. Изд. 2-е. Москва: Мир, 2006. 329 с.

Отримано 15.11.2017

Рецензент Єрохін В.Ф., д.т.н., проф.