

УДК 681.113;681.518

**В.В. Клименко**<sup>1</sup>, к.т.н., с.н.с.,**О.П. Сакно**<sup>2</sup>, к.т.н., доц.,**Д.Л. Мойся**<sup>3</sup>,**Д.О. Котов**<sup>1</sup><sup>1</sup>Военная академия (г. Одесса), Украина<sup>2</sup>Приднепровская государственная академия строительства и архитектуры,  
г. Днепр, Украина<sup>3</sup>Национальный транспортный университет, г. Киев, Украина

## ПРОБЛЕМА УСТОЙЧИВОСТИ РЕШЕНИЙ ИНФОРМАЦИОННЫХ ЗАДАЧ В СИСТЕМАХ ТЕХНИЧЕСКОГО ЗРЕНИЯ АВТОМОБИЛЕЙ

*Проведён анализ методологии обработки дискретной информации о автомобильных системах технического зрения в смысле их вычислительной устойчивости. Особое внимание уделено методам обработки дискретной информации с учетом ее априорной структурной и параметрической неопределенности и проанализированы основные технические трудности внедрения зрительного информационного канала в контуры системы управления автомобилем. Предложено аналитический подход к обработке дискретной информации в системах технического зрения автомобилей в условиях априорной неопределенности. Приведены результаты моделирования вычислительной устойчивости предложенных алгоритмов. Ключевые слова: система технического зрения, беспилотная автомобильная система (БАС), аналитическая модель, реставрация дискретных изображений, случайные возмущения, априорная неопределённость*

**Ключові слова:** система технічного зору, безпілотна автомобільна система (БАС), аналітична модель, реставрація дискретних зображень, випадкові збурювання, априорна невизначеність.

**Постановка проблемы.** Применение систем технического зрения в настоящее время является одним из главных средств развития автоматических систем управления движением автомобиля. При этом существуют проблемы, связанные с преобразованием зрительной информации в данные результатов распознавания, определения параметров движения объектов в режиме реального времени. Ограниченность существующих методов обработки дискретных изображений в системах технического зрения беспилотных автомобилей в части учёта случайных возмущений на фоне шумовых помех обуславливает необходимость их дальнейшего совершенствования при решении класса некорректных информационных задач.

**Анализ последних достижений и публикаций.** Актуальность проблемы разработки методов преобразования и передачи информации в беспилотных автомобильных системах (БАС) обуславливает необходимость совершенствования систем обработки дискретных изображений, как самостоятельного класса систем, которые применяются для решения информационных задач [1].

Внедрение в практику обработки информации дискретных методов вычислительной математики позволило существенно расширить класс методов, которые применяются для реставрации дискретных изображений в БАС и включить в число допустимых обратные методы, основанные на непосредственной инверсии оценочной матрицы оператора деформации на базе которого формируется оператор реставрации [1,2]. Однако эти методы являются достаточно чувствительными к случайным вариациям элементов матрицы оператора реставрации, который учитывает внешние помехи, случайные возмущения и внутренний шум системы формирования изображения, что приводит к существенному снижению качества дискретных изображений при их реставрации инверсным методом [3,4].

Полезный сигнал об объектах и среде, окружающих БАС проходя до объекта и возвращаясь обратно отражённый сигнал проходит сквозь ту же рассеивающую среду, что и луч от источника, подвергается вторичному рассеиванию, поэтому восстановление действительных параметров распределённой оптической среды - достаточно сложная задача, решаемая как аналитическими, так и приближенными методами [5,6].

Таким образом, исследование процесса реставрации дискретных изображений инверсным методом на основе формирования оператора реставрации, который учитывает внешние помехи, случайные возмущения и внутренний шум системы формирования изображения является актуальной задачей как в теоретическом, так и в практическом плане [7].

**Постановка задачи и её решение.** Целью работы является обзор подходов к решению проблемы повышения качества полученных дискретных изображений в БАС, реставрированных методом инверсного синтеза в условиях априорной неопределённости относительно оператора реставрации.

#### Изложение основного материала.

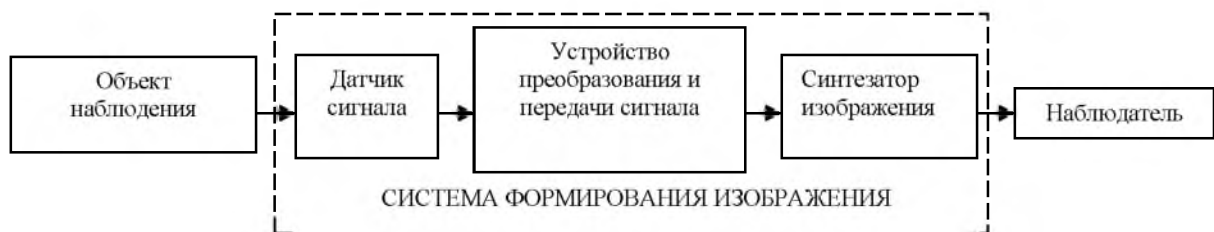
Под беспилотной автомобильной системой (БАС) будем понимать систему, которая управляет автомобилем при помощи системы дистанционного управления, основу которой составляет система формирования изображений (местности, объектов, элементов дороги, разметки и т. д.) и каналов их передачи с целью эффективного управления беспилотным автотранспортным средством.

Под системой обработки изображений для БАС в общем смысле понимаем систему по выполнению операций по формированию и анализа изображений с целью решения информационных задач.

В теории обработки сигналов в ряде случаев решение таких задач, как задача оптимальной фильтрации, наблюдения, оценки, классификации наблюдений, спектрального анализа и реставрации изображений, предполагает использование обратных методов обработки сигналов [8,9]. В основе данных методов лежит процедура инверсии оценочной матрицы оператора деформации. Системы с инверсным оператором реставрации (обработки) изображений значительно чувствительны к случайным возмущениям коэффициентов оператора реставрации и внутренних шумов системы [10,11].

Необходимость учёта случайных возмущений и внутренних шумов системы в процессе обработки изображений обуславливает разработку общей методики исследования влияния этих факторов на качество обработки изображений в системе технического зрения автомобиля.

Любые системы, формирующие изображение (рис. 1): оптические, фотографические, телевизионные, рентгеновские, акустические, звукометрические, радио или радиолокационные, как правило, состоят из устройств трех типов: датчиков сигнала, устройств преобразования и передачи сигнала, синтезатора изображения, а также наблюдателя [12].



**Рис. 1. Обобщённая структурная схема формирования изображений в системе технического зрения автомобиля**

Датчик сигнала взаимодействует непосредственно с объектом, который наблюдается. Синтезатор изображения формирует изображение, которое доступно непосредственно для зрительного восприятия. Устройство преобразования и передачи сигнала согласовывает и связывает между собой датчик сигнала и синтезатор изображения. Преобразования сигналов, которые выполняются в этих устройствах, как правило, выполняются с целью: изменения их

физической природы или изменения их структуры, то есть математической формализации сигналов, которые наблюдаются. Поэтому под обработкой изображений для БАС необходимо понимать обработку сигнала алгебраическими методами с целью коррекции сформированного на выходе системы изображения.

Под коррекцией систем, формирующих изображения, необходимо понимать обработку сигнала в реальной системе формирования изображений, направленной на получение изображений, которые соответствуют идеальной системе их формирования.

Необходимо учитывать, что под идеальной системой формирования изображений следует понимать систему, наличие которой между объектом наблюдения и собой наблюдатель согласен не видеть, то есть это система, которая создаёт изображение, эквивалентное объекту для наблюдателя.

Таким образом, коррекция систем, формирующих изображение это коррекция характеристик систем, то есть приведения их к необходимым, другими словами создание доступной для визуального восприятия информации, которая непосредственно не может быть воспринята зрением человека (Рис. 2).

В общем случае процесс функционирования системы изображения (рис.3), представленной обобщённой схемой на рис. 2, можно описать операторным уравнением вида

$$Y = F(X), \quad (1)$$

Где оператор  $F$  характеризует процесс обработки наблюдения в общей системе формирования изображения; вектор  $Y$  – результат обработки входящего изображения, объединённого в вектор  $X$  за определённый интервал наблюдения.

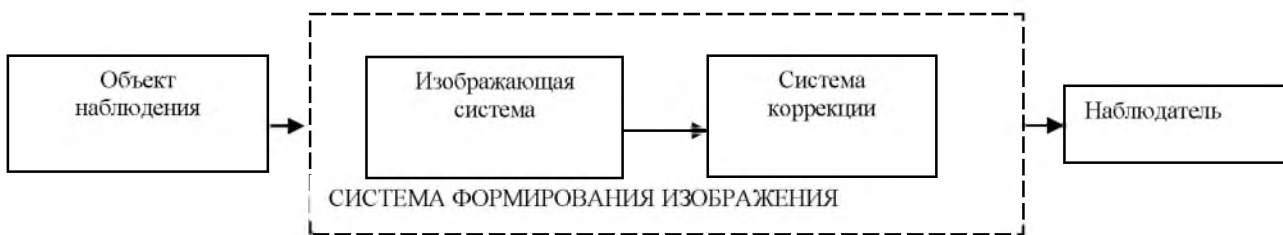


Рис. 2. Место системы коррекции в общей системе формирования изображения

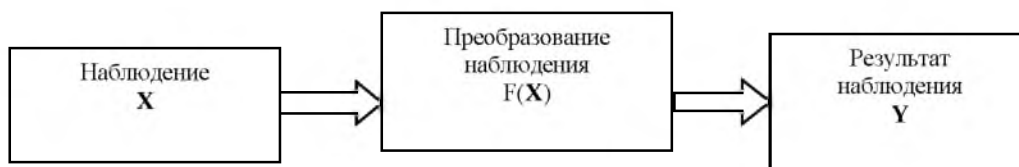


Рис. 3. Обобщённый процесс функционирования изображающей системы

В этом случае задача коррекции изображения в БАС, которое наблюдается  $Y$  сводится к управлению оператором  $F(X)$ , с целью формирования такого оператора коррекции  $G(Y)$ , чтобы в результате его использования формировалось изображение, наиболее близкое к идеальному изображению в смысле некоторого заданного критерия верности воспроизведения

$$\hat{X} = G \cdot [F(X)]. \quad (2)$$

В такой постановке задача коррекции изображения в БАС представляет собой задачу восстановления или реставрации изображения.

Структурная схема процесса восстановления изображения показана на рис. 4.

Под реставрацией изображения в БАС следует понимать процедуру восстановления или оценивания элементов изображения с целью коррекции искажений и наилучшей аппроксимации идеального неискажённого изображения.

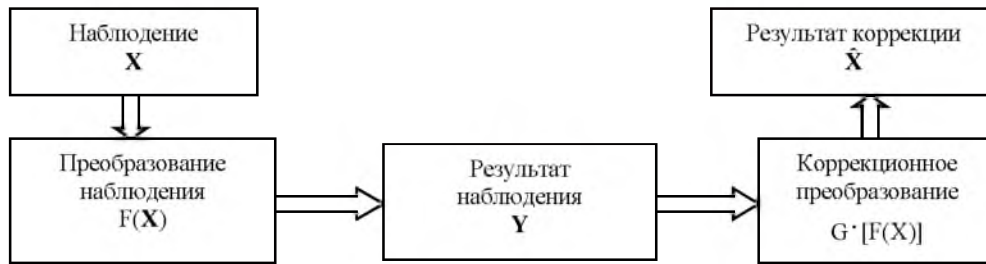


Рис. 4. Обобщённый процесс восстановления или реставрации изображения

В обобщённом виде задача реставрации изображений должна рассматриваться с учётом внутреннего шума самой системы обработки изображений в условиях случайных возмущений оператора формирования наблюдаемых изображений (так, как понятие «случайные возмущения» гораздо шире по сравнению с понятием «внутренний шум», к которому обычно сводятся «случайные возмущения»).

Учитывая вышеизложенное высказывание, обобщённая модель цифровой реставрации дискретного наблюдаемого изображения  $Y$  с внутренним (аддитивным) шумом  $n$  в условиях случайных возмущений  $\Delta H$  оценочного оператора реставрации должна содержать: систему  $H$ , которая искажает; инверсный фильтр  $W$  и случайные возмущения, которые объединяют матрицу  $\Delta H$ . Обобщённая модель такой системы представлена на рис. 5, в которой переменной  $X$  представлено дискретное изображение, как результат инверсной реставрации.

К основным проблемам устойчивости решений информационных задач в БАС можно отнести: чувствительность системы с инверсным оператором реставрации (обработки) изображений случайных возмущений коэффициентов оператора реставрации и внутренних шумов системы.

Реальное описание процесса реставрации изображения предусматривает решение задачи восстановления изображения в целом, когда в операторе реставрации присутствуют случайные возмущения. Схема решения задачи реставрации представлена на рис. 6.

Наличие в реальной инверсной системе обработки изображений внутренних шумов способствует, в какой-то степени параметризации, алгоритма обращения оценочной матрицы оператора деформации изображения, которая в целом позволяет исключить из рассмотрения класс матриц неустойчивых в вычислительном отношении. Однако при этом существование матриц чувствительных к случайным возмущениям не отрицается.

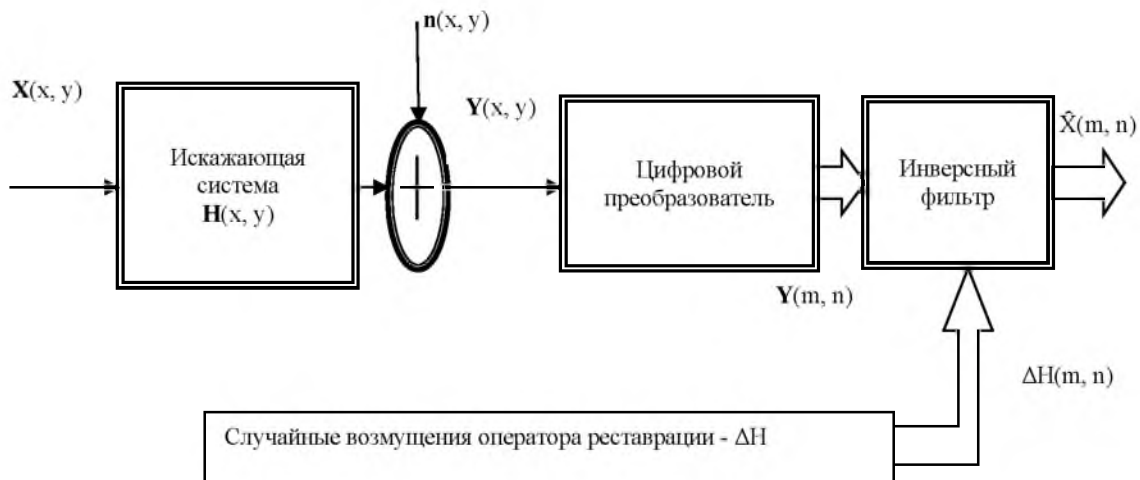


Рис. 5. Обобщённая модель процесса цифровой реставрации дискретного изображения с аддитивным шумом в условиях случайных возмущений

Общее решение задачи восстановления наблюдаемого изображения предполагает определение условий формирования восстанавливаемого изображения  $X$ .

Такими условиями являются:

- 1) независимость возмущений  $\Delta H$  и внутренних шумов  $n: M(\Delta H \cdot n) = 0$ , где  $M$  – оператор усреднения;
- 2) средний уровень внутреннего шума равен нулю;
- 3) относительный уровень случайных вариаций  $\Delta H$  оператора реставрации подчиняется неравенству  $|\Delta H|/|H| \ll 1$ .

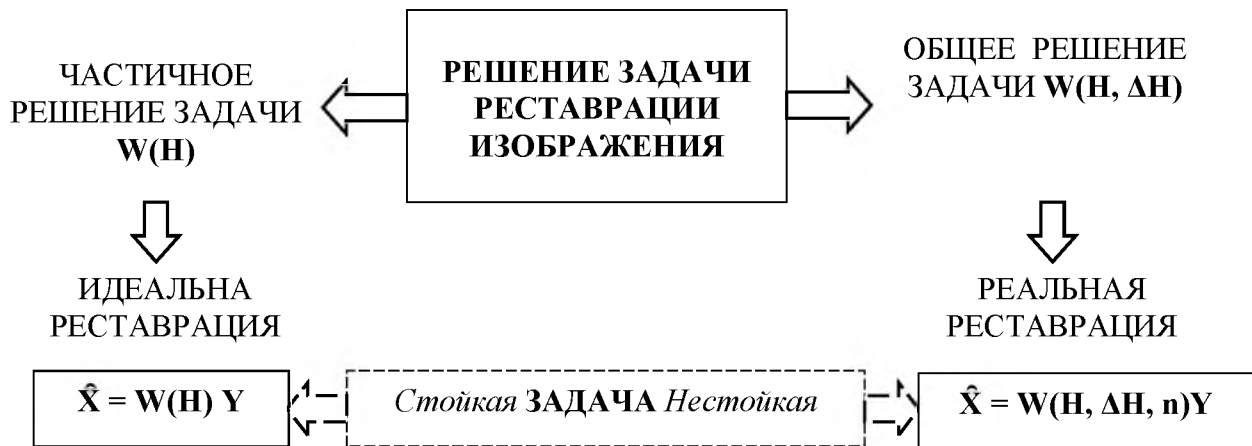


Рис. 6. Схема решения задачи восстановления изображения в общем виде

Постановка задачи реставрации дискретно наблюдаемого изображения в системах технического зрения беспилотных автомобилей предполагает наличие априорной информации, обо всех составных компонентах процесса инверсной реставрации:

- 1) информацию о входящем изображении;
- 2) характеристику передаточной функции изображающей системы;
- 3) наблюдаемое изображение.

Как правило, разработчику доступна информация о наблюдаемом изображении, то есть доступен  $Y$ , а неизвестна передаточная характеристика изображающей системы и входящее изображение, то есть недоступны  $H$  и  $X$ .

Устранение априорной неопределённости относительно информации о входном изображении возможно путём подачи на вход системы тестового изображения, например  $X_0$ . В этом случае остаётся решить задачу определения передаточной характеристики системы.

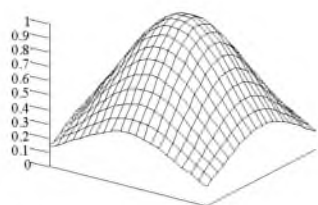
Одним из путей решения этой задачи является возможность формирования оценки  $H$  неизвестного априори оператора деформации  $H$ .

Формирование оценочной матрицы оператора деформации относится к классу задач идентификации систем, когда в нашем распоряжении есть входящий  $X$  и выходящий  $Y$  сигналы, а передаточная функция системы неизвестна.

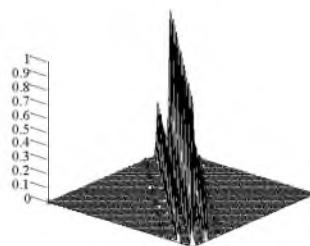
Уровень деформации изображения, которое наблюдается на выходе системы формирования дискретных изображений, может быть различным, в зависимости от передаточной характеристики системы: формы оператора деформации  $H$  и его параметров.

Для случая формирования наблюдаемого изображения  $Y$  с использованием оператора деформации  $H$  в виде функции Гаусса качество наблюдаемого изображения будет зависеть от формы ядра функции Гаусса и соответствующей ей формы матричного оператора деформации  $H$ .

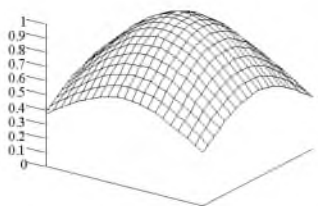
Форма ядра функции Гаусса вида  $e^{-\mu(i^2+j^2)}$  для различных значений параметров деформации  $\mu$  и соответствующий ей матричный оператор  $H$  представлены на рис. 7 (а-г) и 7 (д-з) соответственно.



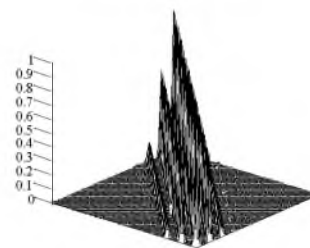
а)  $\mu = 1$



д)  $\mu = 1$



б)  $\mu = 0,5$

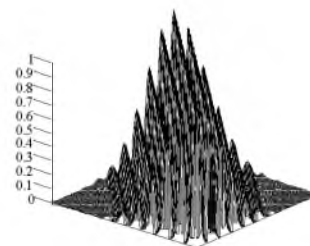


е)  $\mu = 0,5$



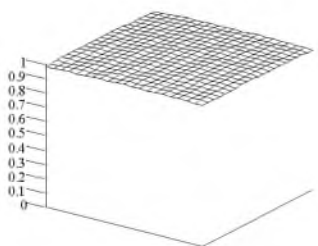
А

в)  $\mu = 0,1$



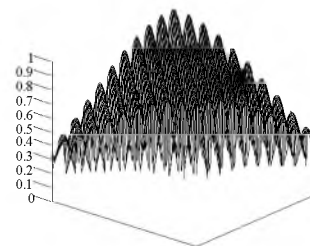
А

ж)  $\mu = 0,1$



А

г)  $\mu = 0,01$



А

з)  $\mu = 0,01$

Рис.7. Форма ядра функции Гаусса (а – г) и матрицы оператора реставрации гауссовой формы (д – з)

Следовательно, проблема устойчивости решений информационных задач в системах технического зрения беспилотных автомобилей в общем виде сводится к проблеме формирования оценки  $\hat{H}$  оператора деформации (искажения)  $H$  системы формирования изображений с учётом размерности входящего информационного массива и случайных возмущений, а также шумов системы.

Варианты влияния формы и параметров оператора деформации на выходной сигнал  $Y$  для системы формирования дискретных изображений  $X$ , размер которого  $(N \times N)$  изложены в [13].

**Выводы.** Таким образом, реставрация изображений обратным методом для беспилотных автомобильных систем сводится к получению регулярно-устойчивого решения в условиях априорно неопределённой или неточно измеренной информации относительно исходных параметров.

Решение такой задачи позволило бы минимизировать проблемы устойчивости класса обратных некорректных задач в статических и динамических системах.

Существующие подходы к решению такого класса задач предусматривают применение, например, стабилизирующей меры к информационному массиву на выходе системы наблюдения с последующей его обработкой обратным методом.

### Список использованных источников

1. Скачков В.В. Анализ эффективности адаптивной обработки сигналов в условиях дестабилизирующих воздействий // В.В. Скачков / Радиотехника. – 1998. – № 11. – С. 17 – 23.
2. Влияние случайных возмущений на качество пространственной реставрации дискретных изображений алгебраическим методом // Сборник научных трудов, ч.2 – Харьков: АН ПРЭ, ХНУРЭ, 2002. – 500 с.
3. Методика аналитической оценки чувствительности инверсной системы восстановления информации к случайным возмущениям // Збірник наукових праць СВМІ. – 2005. – № 2 (8). – С. 103 – 108.
4. Скачков В.В. Влияние случайных ошибок процессора управления на эффективность компенсатора шумовых помех // В.В. Скачков / Радиотехника, – 1999. – №9. – С. 11–17.
5. Оптическая обработка информации: Пер. с англ. / Под ред. Д. Кейсесента. – М.: Мир, 1980. – 352 с.
6. Техническое зрение в системах управления мобильными объектами-2010: Труды научно-технической конференции-семинара. Вып. 4 / Под ред. Р. Р. Назирова. — М. : КДУ, 2011.— 328 с. : табл., ил., цв. ил.
7. Проблема повышения качества измерения информативных параметров радиосигналов в условиях аддитивных шумов / В.В. Скачков, В.И. Павлович // П'ята Міжнародна науково-практична конференція «Метрологія, технічне регулювання та забезпечення якості». – 2015. – 96-99 С.
8. Адаптивные фильтры: Пер. с англ. / П.М. Грант, К.Ф.Н. Коуэн, Б. Фридендер и др. / Под ред. К.Ф.Н. Коуэна и П.М. Гранта. – М.: Мир, 1987. – 392 с.
9. Василенко Г.Н., Тараторив А.М. Восстановление изображений. – М.: Радио и связь, 1986. – 304 с.
10. Прэтт У. Цифровая обработка изображений: Пер. с англ. – М.: Мир, 1982. – Кн. 2 – 310 с.
11. Ярославский Л.П. Введение в цифровую обработку изображений. М.: Сов. радио, 1979. – 312 с.
12. Узбб С. Физика визуализации изображения в медицине: В 2 т.: Пер. с англ. – М.: Мир, 1991. – 282 с.
13. Аналитическая модель деформации дискретных изображений при возмущении оператора восстановления / В.В. Скачков, В.В. Клименко, Е. К. Мыйнов // Праці УНДПРТ. – 2001. – № 3 (27).

**Рецензент:** Скачков Валерий Викторович, д.т.н., проф., главный научный сотрудник Научного центра Военной академии, Одесса, Украина.

## ПРОБЛЕМА СТІЙКОСТІ РІШЕНЬ ІНФОРМАЦІЙНИХ ЗАДАЧ В СИСТЕМАХ ТЕХНІЧНОГО ЗОРУ АВТОМОБІЛЕЙ

Клименко В.В., Сакно О.П., Мойся Д.Л., Котов Д.О.,

*Проведено аналіз методології обробки дискретної інформації стосовно автомобільних систем технічного зору в сенсі їх обчислювальної стійкості. Особливу увагу приділено методам обробки дискретної інформації з урахуванням її апіорної структурної і параметричної невизначеності та проаналізовано основні технічні труднощі впровадження зорового інформаційного каналу в контури системи управління автомобілем.*

*Запропоновано аналітичний підхід до обробки дискретної інформації в системах технічного зору автомобілів в умовах апіорної невизначеності. Наведено результати моделювання обчислювальної стійкості запропонованих алгоритмів.*

**Ключевые слова:** *система технического зрения, беспилотная автомобильная система (БАС), аналитическая модель, реставрация дискретных изображений, случайные возмущения, априорная неопределённость.*

## PROBLEM OF SUSTAINABILITY OF INFORMATION TASK SOLUTIONS IN SYSTEMS OF TECHNICAL VISION OF CARS

Klimenko V.V., Sakno O.P, Moses D.L, Kotov D.O.,

*An analysis of the methodology of the processing of discrete information systems of the automotive systems of the technical system has been carried out in the sense of reading. Especially respect has been given to the processing methods of discrete information from the safety of structural and parametric data that has been analyzed by the main technical difficulties in the installation of a zorovoy information channel in the contour of the system. The analog piddhid before the processing of discrete information in the technical systems of automobiles in the minds of aprilous non-valued is prescribed. Results of the model were calculated for the number of posts by the registered algorithms.*

**Keywords:** *technical vision system, unmanned aerial vehicle system (BAS), analytical model, restoration of discrete images, random disturbances, a priori uncertainty.*