

УДК 621.383.8

DOI: [10.26102/2310-6018/2022.36.1.011](https://doi.org/10.26102/2310-6018/2022.36.1.011)

## Обработка разнодиапазонных изображений на базе матричных приборов с зарядовой связью

А.Н. Ветров<sup>✉</sup>, А.Ю. Потлов, С.В. Фролов, Д.Е. Судаков

*Тамбовский государственный технический университет,  
Тамбов, Российская Федерация  
[avetrov@yandex.ru](mailto:avetrov@yandex.ru)*

**Резюме:** В статье рассматривается и обосновывается принцип совмещения и обработки разнодиапазонных изображений на базе матричных приборов с зарядовой связью. Разработанный принцип предлагается как альтернатива программной реализации задачи совмещения и обработки разнодиапазонных изображений. Проведен анализ существующих методов совмещения разнодиапазонных изображений и обоснована недостаточность этих методов в плане повышения информативности результирующего изображения. Рассмотрен метод совмещения и обработки изображений с целью повышения информативности, реализуемый цифровыми методами. Обоснована возможность и перспективность реализации указанной задачи на базе дискретно-аналоговых систем, а именно базе матричных приборов с зарядовой связью. Предложен принцип двухэтапного воздействия на зарядовые пакеты, формирующие пиксели изображений в матричных приборах с зарядовой связью с целью их деления в заданных пропорциях, указанных в цифровом методе, и внедрения нужных частей деления в соседние запоминающие ячейки. Показана простота реализации процедуры деления и перемещения частей зарядовых пакетов посредством перемены напряжений на фазных шинах матричного прибора с зарядовой связью. Аналитически определена передаточная характеристика матричного прибора с зарядовой связью в предложенном режиме. Определен коэффициент прямоугольности передаточной характеристики.

**Ключевые слова:** матричный прибор с зарядовой связью, изображения, обработка, зарядовые пакеты, деление зарядовых пакетов.

**Для цитирования:** Ветров А.Н., Потлов А.Ю., Фролов С.В., Судаков Д.Е. Обработка разнодиапазонных изображений на базе матричных приборов с зарядовой связью.

*Моделирование, оптимизация и информационные технологии.* 2022;10(1). Доступно по: <https://moitvvt.ru/ru/journal/pdf?id=1072> DOI: 10.26102/2310-6018/2022.36.1.011

## Processing of multi-band images based on matrix devices with charge coupling

A.N. Vetrov<sup>✉</sup>, A.Y. Potlov, S.V. Frolov, D.E. Sudakov

*Tambov State Technical University,  
Tambov, Russian Federation  
[avetrov@yandex.ru](mailto:avetrov@yandex.ru)*

**Abstract:** The article discusses and substantiates the principle of multi-range images combining and processing based on matrix devices with charge coupling. The developed principle is proposed as an alternative to the software implementation of the task of multi-range images combining and processing. The analysis of existing methods of combining multi-range images is carried out and the insufficiency

of these methods in terms of increasing the resulting image information content is confirmed. The method for images combining and processing with a view to enhancing the information content, which is performed by means of digital methods, is considered. The possibility and prospects of the specified problem employment with the aid of discrete-analog systems, namely, the basis of matrix devices with charge coupled, have been affirmed. The principle of a two-stage impact on charge packets, which form image pixels in matrix devices with charge-coupled devices, is suggested with the aim of dividing them in specified proportions, indicated in the digital method, and introducing the necessary division parts into adjacent storage cells. The application simplicity of the procedure for dividing and moving parts of the charge packets by changing the voltages on the phase buses of the matrix device with charge coupling is shown. The transfer characteristic of the charge coupled matrix device in the outlined mode is determined analytically. The coefficient of the transfer characteristic squareness is ascertained.

**Keywords:** charge coupled matrix device, images, processing, charge packets, charge pack division

**For citation:** Vetrov A.N., Potlov A.Y., Frolov S.V., Sudakov D.E. Processing of multi-band images based on matrix devices with charge coupling. *Modeling, Optimization and Information Technology*. 2022;10(1). Available from: <https://moitvvt.ru/ru/journal/pdf?id=1072> DOI: 10.26102/2310-6018/2022.36.1.011 (In Russ).

## Введение

Изображения, полученные от датчиков, работающих в разных диапазонах излучений, несут в себе информацию только определённого свойства. Поэтому объединение разнородных (разнодиапазонных) изображений в общее изображение дает возможность для получения более полной информации об исследуемом объекте. Например, это может быть существенно полезным объединением в медицинской диагностике, поскольку важнейшим аспектом постановки диагноза заболеваний человека является его достоверность. Современные методы визуальной диагностики используют термографию для выявления очагов приповерхностных онкологических заболеваний. Это позволяет выявлять недоброкачественные новообразования на ранних стадиях, когда визуально поверхностных изменений еще не наблюдается. Но здесь возникает некоторое неудобство в том плане, что тепловая картина информирует только о температурном распределении по поверхности. Детали объекта на тепловом изображении не отображаются. Для повышения информации при обследовании объекта используют совмещенное изображение от оптического и тепловизионного датчиков, что позволяет более точно локализовать очаг поражения. В настоящее время используют различные методы совмещения разнодиапазонных изображений, в том числе и в сочетании видео и тепловизионные. [1-4]. Однако всем этим методам присущ один общий недостаток – после совмещения общее изображение не подвергается обработке с целью повышения информативности.

Известен метод совмещения разнодиапазонных изображений, который предусматривает внутреннюю обработку комплексированных изображений с существенным результатом повышения информативности [5]. Метод предполагает программную реализацию совмещения разнодиапазонных изображений с последующей обработкой общего изображения. В настоящее время наблюдается довольно интенсивное развитие дискретно-аналоговой элементной базы для формирования и обработки изображений с применением матричных приборов с зарядовой связью (МПС) как альтернатива цифровым методам [6].

Существенным преимуществом здесь является то, что формирование, совмещение и заданная обработка изображений может быть реализована непосредственно в самих устройствах. Кроме того, МПС имеют достаточно малые

габаритные и весовые показатели, обладают высокой чувствительностью и разрешающей способностью в обширном диапазоне спектральных характеристик [7-9].

### Постановка задачи

Поскольку МПЗС предусматривают режим хранения информации, т.е. полученных изображений в виде зарядовых пакетов в запоминающих ячейках, то возникает возможность подвергать этот массив различным видам обработки. Задачей настоящей работы является разработка и обоснование принципа реализации метода обработки совмещенных разнодиапазонных изображений, изложенного в работе [5], на базе МПЗС.

### Материал и метод исследования

В работе [5] показано, что с целью повышения информативности совмещенных изображений реализуется процедура деления каждого пикселя объединенного массива на три части в соотношении 0,25 – 0,25 – 0,5. Далее первые две части распределяются (суммируются) с соседними пикселями по одной координате, а в исходную запоминающую ячейку внедряются части такого же деления от соседних запоминающих ячеек.

Для исследования применим однокоординатную модель фрагмента МПЗС. Для простоты пояснения режима деления пикселей и распределения частей зарядовых пакетов по соседним запоминающим ячейкам предусмотрим расположения зарядов МПЗС (пикселей) с чередованием через одну ячейку (Рисунок 1).

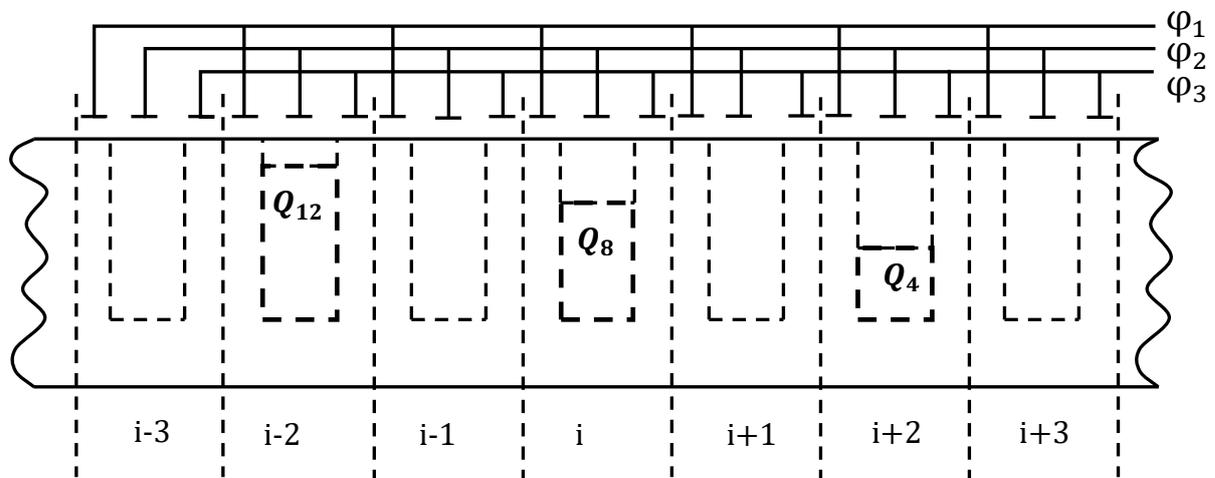


Рисунок 1 – Первоначальное расположение пикселей  
Figure 1 – The initial location of the pixels

Здесь в запоминающих ячейках  $i-2$ ,  $i$ ,  $i+2$  расположены заряды с условными значениями  $Q_1 = 12$ ,  $Q_2 = 8$  и  $Q_3 = 4$  соответственно. Заряды находятся под затворами фазной шины  $\phi_2$ , где удерживается высокий потенциал. На фазных шинах  $\phi_1$  и  $\phi_3$  потенциал равен нулю. Запоминающие ячейки  $i-3$ ,  $i-1$ ,  $i+1$  зарядов не содержат. Теперь если поменять потенциалы на фазных шинах на обратные, то под затворами фазных шин  $\phi_1$  и  $\phi_3$  образуются потенциальные ямы, а потенциальные ямы под затворами фазной шины  $\phi_2$  закроются. В силу симметрии условий нетрудно увидеть, что зарядные пакеты поделятся пополам и обе половины переместятся в соседние образовавшиеся потенциальные ямы, образовавшиеся под затворами фазных шин  $\phi_1$  и  $\phi_3$  (Рисунок 2).

Теперь если восстановить первоначальное состояние потенциалов на фазных шинах, то произойдет повторное разделение зарядовых пакетов и перемещение их в образованные потенциальные ямы слева и справа. Таким образом, например, для запоминающей ячейки  $i-1$  значение образовавшегося пакета составит 5 условных единиц ( $Q_5$ ), поскольку из соседних потенциальных ям сюда переместилось  $Q_6/2 = Q_3$  и  $Q_4/2 = Q_2$  (Рисунок 3).

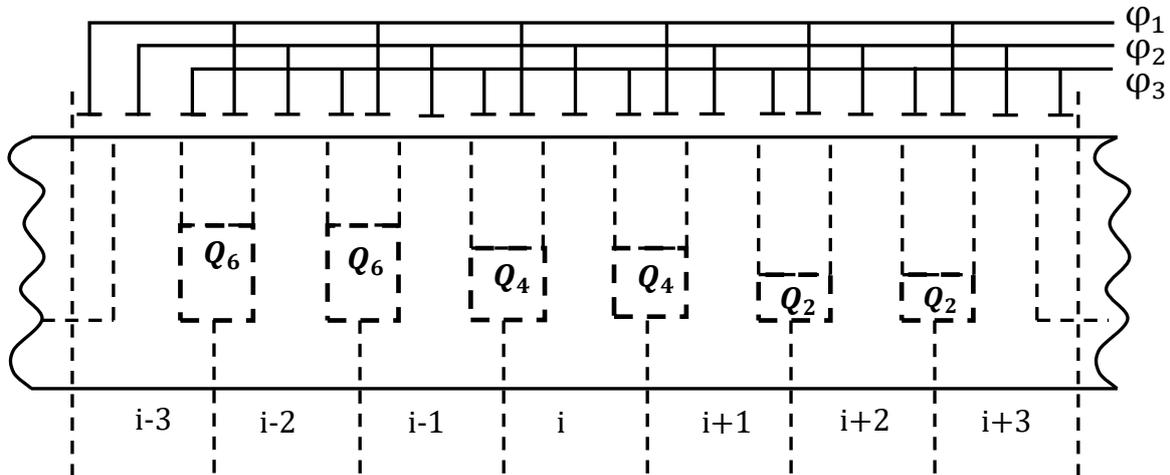


Рисунок 2 – Промежуточное положение разделённых зарядовых пакетов  
Figure 2 – Intermediate position of separated charge packets

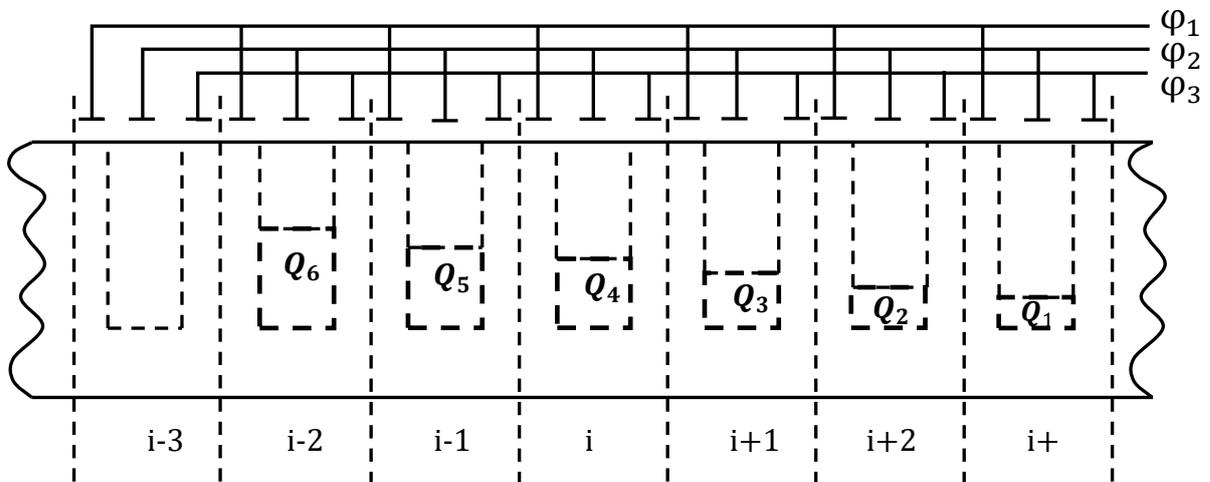


Рисунок 3 – Итоговое значение зарядовых пакетов  
Figure 3 – The final value of the charge packets

В результате имеем, что из запоминающей ячейки  $i$ , где первоначально содержался пиксель со значением заряда  $Q_8$ , в запоминающую ячейку  $i-1$  передана четверть этого заряда  $Q_2$ . Аналогично, из запоминающей ячейки  $i-2$  со значением заряда  $Q_{12}$  в ячейку  $i-1$  передана четверть этого зарядового пакета  $Q_3$ . Понятно, что подобное разделение и слияние идентично для всех запоминающих ячеек. Принципиально ничего измениться не может, если все запоминающие ячейки МПЗС будут заполнены, при этом

в соседних запоминающих ячейках будут содержаться пиксели от разнородных изображений. Результат будет такой же, как показано в [4]. Это можно проиллюстрировать на графической модели двумерного фрагмента МПЗС, где исходно во все запоминающие ячейки через строку введены пиксели разнородных изображений (Рисунок 4). Здесь в части Рисунка 4 (А) условно разным цветом показаны пиксели разнородных изображений и стрелками показаны направления перемещений частей деления пикселей. Результат этих перемещений можно увидеть на Рисунке 4 (Б). Здесь наглядно показано, что изложенный принцип деления и перемещения частей зарядовых пакетов реализуем в должном виде при заполнении всех запоминающих ячеек.

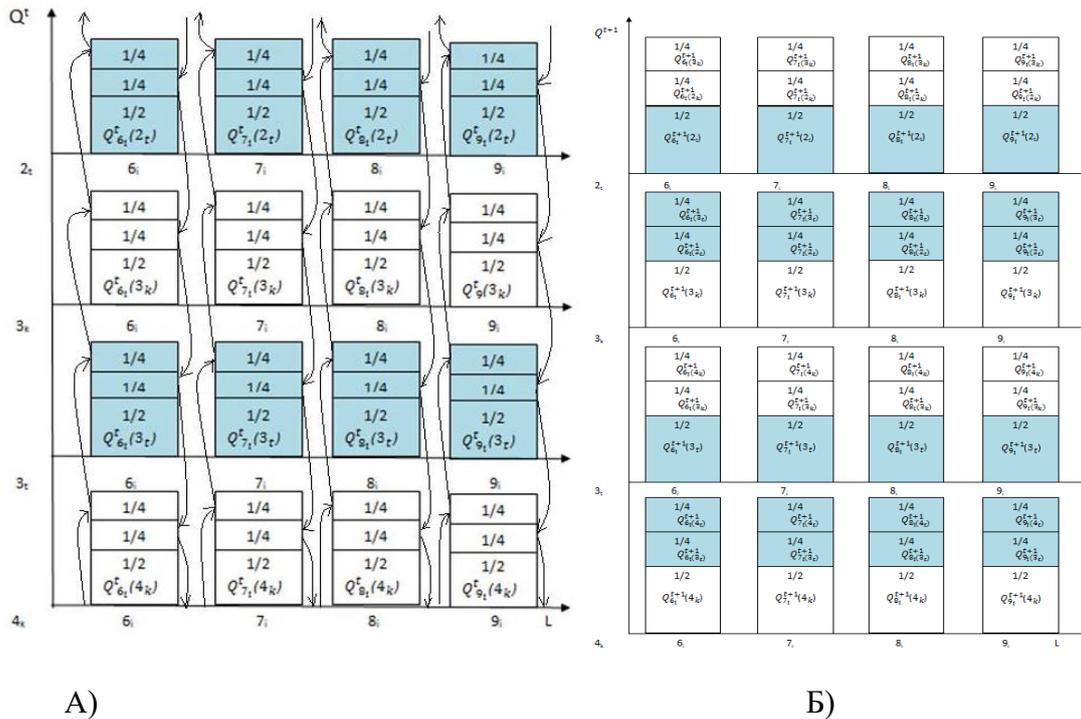


Рисунок 4 – Смешивание разнородных изображений при полном заполнении МПЗС.  
А) исходное состояние, Б) результат  
Figure 4 – Mixing of dissimilar images with full filling of the MPZS.  
A) the initial state, Б) the result

### Результат исследований

Поскольку принцип деления и перемещения организован в МПЗС в дискретном виде, то для определения передаточной характеристики в этом режиме будем использовать Z-преобразование [10]. Положим, что первоначальный массив X-совмещенных изображений содержит nn строк и m столбцов. В результате деления и передачи частей зарядовых пакетов по изложенному выше принципу формируется матрица Y, состоящая из n строк и m столбцов. Введение рассматриваемого режима деления и распределения в МПЗС реализуется между противоположными запоминающими ячейками в соседних строках. Тогда связь между  $y_{i,j}$  и  $x_{i,j}$  ( $i = 1,2,3,\dots,n$ ), ( $j = 1,2,3,\dots,m$ ) будет следующей:

$$y_{i,j} = 0,25x_{i-1,j} + 0,5x_{i,j} + 0,25x_{i+1,j}. \quad (1)$$

Рассматривая только один столбец и при нулевых начальных условиях, получим:

$$y(Z) = 0,25Z^{-1}x(Z) + 0,5x(Z) + 0,25. \quad (2)$$

Для определения передаточной характеристики необходимо сформировать отношение значений выходного массива изображения к входному массиву, т. е.

$K(Z) = \frac{y(Z)}{x(Z)}$ , тогда получим:

$$K(Z) = 0,25Z^{-1} + 0,5 + 0,25. \quad (3)$$

Известно, что  $Z = e^{j\omega}$ . Тогда передаточная характеристика в комплексной форме:

$$K(j\omega) = 0,25e^{-j\omega T} + 0,5 + e^{j\omega T}. \quad (4)$$

Применив формулу Эйлера, получим:

$$K(j\omega) = 0,25(\cos \omega T - j \sin \omega T) + 0,5 + 0,25(\cos \omega T + j \sin \omega T). \quad (5)$$

Преобразовав полученное выражение, будем иметь:

$$A(\omega) = 0,5(\cos \omega T + 1). \quad (6)$$

Учитывая, что

$$\cos \alpha + 1 = 2 \cos^2 \frac{\alpha}{2},$$

окончательно получим:

$$K(\omega) = \cos^2 \frac{\omega T}{2}. \quad (7)$$

В нашем случае временной параметр  $T$  соответствует пространственному интервалу  $\Delta y$  между запоминающими ячейками  $\Delta y$ . Тогда для МПЗС будем иметь:

$$K(\omega) = \cos^2 \frac{\omega \Delta y}{2}. \quad (8)$$

Графически полученная зависимость имеет следующий вид «рисунок 5».

Коэффициент прямоугольности передаточной характеристики определён как  $K_{\Pi} = 0,45$ .

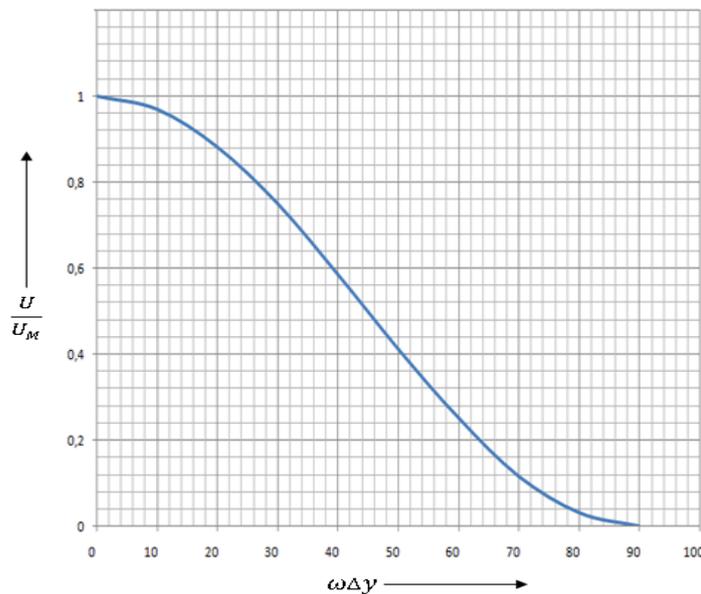


Рисунок 5 – График передаточной характеристики  
Figure 5 – Graph of the transfer characteristic

Если же продолжить обмен частями зарядовых пакетов  $n$  раз, то передаточная функция будет следующей:

$$K(\omega) = \cos^n \frac{\omega \Delta y}{2}. \quad (9)$$

На основе рассмотрения полученного выражения можно сделать вывод, что при  $n \rightarrow \infty$ , коэффициент прямоугольности  $K_{\Pi} \rightarrow 0$ . В результате, потенциальный рельеф, первоначально сформированный зарядовыми пакетами, будет сглажен до постоянной составляющей сигнала изображения.

Этот фактор может быть использован для решения других задач. Например, для выделения фрагментов изображений с превышением тепловой нормы в тепловизионных камерах путем вычитания из общего изображения постоянной составляющей.

### Заключение

В результате проделанного исследования показано, что совмещение и обработка разнодиапазонных изображений может быть организована посредством матричных приборов с зарядовой связью как альтернатива такой же процедуры цифровыми методами. Суть в том, что МПЗС имеют свои преимущества в плане массогабаритных показателей, аппаратных затрат, стоимости. Помимо этого, возникает возможность непосредственного совмещения и обработки разнодиапазонных изображений при их получении, поскольку МПЗС являются датчиками изображений. Они же позволяют формировать изображения с высокой разрешающей способностью и в широком спектре частот в реальном масштабе времени.

В предлагаемом исследовании определен способ работы МПЗС, при котором реализуется требуемое деление в нужных пропорциях зарядовых пакетов и перемещения частей деления на указанные места. Определена передаточная характеристика МПЗС в найденном режиме работы. Результат исследования показывает, что дискретно-аналоговые методы работы с изображениями не уступают по своей результативности цифровым методам обработки.

### СПИСОК ИСТОЧНИКОВ

1. Бендицкий А.А. Патент 2305320 Российская Федерация, МПК G06T 3/00. *Способ формирования матричного объекта*. Заявитель и патентообладатель Бендицкий А.А. Заявл. 02.07.2004; опубл. 28.07.2007.
2. Богданов А.П., Костяшкин Л.Н., Морозов А.В., Павлов О.В., Романов Ю.Н., Рязанов А.В. Патент 2451338 Российская Федерация, МПК G06T5/00. *Способ комплексирования цифровых полутоновых телевизионных и тепловизионных изображений*. Заявитель и патентообладатель ОАО «Государственный Рязанский приборный завод». Заявл. 23.12.2010; опубл. 20.05.12.
3. Ерош И.Л., Сергеев М.Б., Соловьев Н.В., Филатов Г.П., Козлов А.А., Литвинов М.Ю. Патент 2435221 Российская Федерация, МПК G06T 3/00. *Способ совмещения изображений, полученных от различных фотодатчиков, и устройство для его реализации*. Заявитель и патентообладатель Санкт-Петербургский государственный университет аэрокосмического приборостроения. Заявл. 10.12.2007; опубл. 27.11.2011.
4. Гектин Ю.М., Ефремов И.Ф., Калюжный В.И., Ковалёв А.О., Кузнецов А.Е. Патент 2258204 Российская Федерация, МПК G01C 11/00/. *Способ дистанционного обследования объектов электрических сетей с помощью тепловидеосъемочного устройства*. Заявитель и патентообладатель ЗАО «Центр перспективных наукоёмких технологий». Заявл. 16.02.2004; опубл. 10.08.2005.
5. Ветров А.Н., Потлов А.Ю. Повышение информативности совмещённых разнодиапазонных изображений в медицинской диагностике. *Вестник Воронежского государственного технического университета*. 2021;17(4):36–42.

6. Ветров А.Н., Артюхин И.Ю., Ошурков В.Ю., Гахзар М.А. Многофункциональное использование матричных приборов с зарядовой связью в системе поиска пострадавших. *Вестник Тамбовского государственного технического университета*. 2013;19(2):298–303.
7. Волков В.Г. Сверхвысокочувствительные телевизионные системы. *Специальная техника*. 2002;(4):2–11.
8. Волков В.Г. Приборы ночного видения и принадлежности к ним. *Спецтехника и связь*. 2011;(1):3–10.
9. Волков В.Г. Многоканальные приборы ночного видения наземного применения. *Специальная техника*. 2001;(4):13–20.
10. Баскаков С.И. *Радиотехнические цепи и сигналы: Учебник для вузов*. М.: Высшая школа; 1988. 448 с.

#### REFERENCES

1. Benditskiy A.A. Patent 2305320 Russian Federation, IPC G06T 3/00. *A method of forming a matrix object*. Applicant and patentee Benditskiy A.A. Declared. 02.07 2004; publ. July 28, 2007. (In Russ.)
2. Bogdanov A.P., Kostyashkin L.N., Morozov A.V., Pavlov O.V., Romanov Yu.N., Ryazanov A.V. Patent 2451338 Russian Federation, IPC G06T 5/00. *A method for integrating digital halftone television and thermal imaging images*. Applicant and patentee of JSC Ryazan State Instrument Plant. Declared. 12.23.2010; publ. 05.20.12. (In Russ.)
3. Erosh I.L., Sergeev M.B., Soloviev N.V., Filatov G.P., Kozlov A.A., Litvinov M.Yu. Patent 2435221 Russian Federation, IPC G06T 3/00. *A method of combining images obtained from various photosensors and a device for its implementation*. Applicant and patentee St. Petersburg State University of Aerospace Instrumentation. Declared. 10.12.2007; publ. 11/27/2011. (In Russ.)
4. Gektin Yu.M., Efremov I.F., Kalyuzhny V.I., Kovalev A.O., Kuznetsov A.E. Patent 2258204 Russian Federation, IPC G01C 11/00/. *Method for remote inspection of electrical network objects using a thermal video recording device*. Applicant and patentee of CJSC «Center for Advanced Science-Intensive Technologies». Declared. 02.16.2004; publ. 10.08.2005. (In Russ.)
5. Vetrov A.N., Potlov A.Yu. Increasing the information content of combined multirange images in medical diagnostics. *Vestnik Voronezhskogo gosudarstvennogo tekhnicheskogo universiteta = Voronezh State Technical University Bulletin*. 2021;17(4):36–42. (In Russ.)
6. Vetrov A.N., Artyukhin I.Yu., Oshurkov V.Yu., Gakhzar M.A. Multifunctional use of charge-coupled matrix devices in the victim search system. *Vestnik Tambovskogo gosudarstvennogo tekhnicheskogo universiteta = Bulletin of the Tambov State Technical University*. 2013;19(2):298–303. (In Russ.)
7. Volkov V.G. Ultra high sensitivity television systems. *Spetsial'naya tekhnika = Special equipment*. 2002;(4):2–11. (In Russ.)
8. Volkov V.G. Night vision devices and accessories. *Spetsial'naya tekhnika i svyaz' = Special equipment and communication*. 2011;(1):3–10. (In Russ.)
9. Volkov V.G. Multichannel night vision devices for terrestrial use. *Spetsial'naya tekhnika = Special equipment*. 2001;(4):13–20. (In Russ.)
10. Baskakov S.I. *Radio engineering circuits and signals: Textbook for universities*. М.: Higher school; 1988. 448 p. (In Russ.)

## ИНФОРМАЦИЯ ОБ АВТОРАХ / INFORMATION ABOUT THE AUTHORS

**Ветров Александр Николаевич**, кандидат технических наук, доцент кафедры «Биомедицинская техника» Тамбовского государственного технического университета Тамбов, Российская Федерация.  
*e-mail:* [avetrov@yandex.ru](mailto:avetrov@yandex.ru)

**Alexander Nikolaevich Vetrov**, Candidate of Technical Sciences, Associate Professor of the Department of Biomedical Engineering of the Tambov State Technical University, Tambov, Russian Federation.

**Потлов Антон Юрьевич**, кандидат технических наук, доцент кафедры «Биомедицинская техника» Тамбовского государственного технического университета, Тамбов, Российская Федерация.  
*e-mail:* [zerner@yandex.ru](mailto:zerner@yandex.ru)

**Potlov Anton Yuryevich**, Candidate of Technical Sciences, Associate Professor of the Department of Biomedical Engineering of the Tambov State Technical University, Tambov, Russian Federation.

**Фролов Сергей Владимирович**, доктор технических наук, заведующий кафедры «Биомедицинская техника» Тамбовского государственного технического университета, Тамбов, Российская Федерация.  
*e-mail:* [sergej.frolov@gmail.com](mailto:sergej.frolov@gmail.com)

**Frolov Sergey Vladimirovich**, Doctor of Technical Sciences, Head of the Department "Biomedical Engineering" of Tambov State Technical University, Tambov, Russian Federation.

**Судаков Дмитрий Евгеньевич**.  
Аспирант кафедры «Биомедицинская техника» Тамбовского государственного технического университета, Тамбов, Российская Федерация.  
*e-mail:* [sudakov.dima1702@yandex.ru](mailto:sudakov.dima1702@yandex.ru)

**Sudakov Dmitriy Evgen'evich**, Postgraduate student of the Department of Biomedical Engineering of the Tambov State Technical University, Tambov, Russian Federation.

*Статья поступила в редакцию 29.10.2021; одобрена после рецензирования 25.01.2022; принята к публикации 25.02.2022.*

*The article was submitted 29.10.2021; approved after reviewing 25.01.2022; accepted for publication 25.02.2022.*