

А. С. Грехов¹, А. Н. Поликанин¹, Д. Н. Титов¹*

Разработка программного обеспечения для расчета дальности действия тепловизора

¹ Сибирский государственный университет геосистем и технологий, г. Новосибирск, Российская Федерация
* e-mail: grehov084@gmail.com

Аннотация. В статье приведен краткий обзор методик расчета дальности действия тепловизионных систем, одна из которых легла в основу разрабатываемой программы. *Целью работы* является автоматизация процесса расчета дальности действия тепловизоров, включая дальность распознавания и идентификации. *Актуальность работы* обусловлена широким распространением тепловизионного оборудования в разведывательных целях, в качестве средств наблюдения в ночное время и условиях ограниченной видимости, а также как средство обнаружения каналов утечки информации. В статье приведены результаты разработки программного интерфейса, позволяющего рассчитать дальность действия тепловизионных систем на основе параметров температурной чувствительности и разрешения. На сегодняшний день в российском сегменте рынка практически нет программного обеспечения, позволяющего автоматизировано производить расчет дальности действия тепловизионных систем по характеристикам используемого прибора. *Результатом* работы является разработанное программное обеспечение, позволяющее проводить автоматизированный расчет дальности действия тепловизионных систем на основе объединенных параметров температурной чувствительности и разрешения.

Ключевые слова: тепловизоры, дальность действия, обнаружение, идентификация, разработка, программный интерфейс

A. S. Grehov¹, A. N. Polikanin¹, D. N. Titov¹*

Development of Software for Calculating the Range of a Thermal Imager

¹ Siberian State University of Geosystems and Technologies, Novosibirsk, Russian Federation
*e-mail: grehov084@gmail.com

Abstract. The article provides a brief overview of methods for calculating the range of thermal imaging systems, one of which formed the basis of the developed program. *The aim* of the work is to develop software based on the method for calculating the range of thermal imagers, including the range of recognition and identification based on one of the existing methods for calculating the range of thermal imaging devices. *The relevance* of the work is due to the widespread use of thermal imaging equipment for reconnaissance purposes, as a means of observation at night and conditions of limited visibility, as well as a means of detecting information leakage channels. The article presents the results of the development of a software interface that allows calculating the range of thermal imaging systems based on the parameters of temperature sensitivity and resolution. Today in the Russian segment of the market there is practically no software that allows you to automatically calculate the range of thermal imaging systems according to the characteristics of the device used. *The result* of the work is the developed software that allows for automated calculation of the range of thermal imaging systems based on the combined parameters of temperature sensitivity and resolution.

Keywords: thermal imagers, range, detection, identification, development, software interface

Введение

В современном мире тепловизионное оборудование получает все более широкое распространение в системах безопасности как средства наблюдения в темное время суток и сложных погодных условиях. Наблюдение с помощью тепловизора имеет ряд преимуществ относительно иных средств, предназначенных для съемки в ночное время, таких как ИК камеры с подсветкой поля зрения или приборов ночного видения [1], [6].

Одним из главных параметров тепловизора является его дальность действия, которая также включает в себя понятия дальности обнаружения, распознавания и идентификации [10].

Цель работы заключается в автоматизации процесса расчета дальности действия тепловизоров, включая дальность распознавания и идентификации.

Для достижения поставленной цели были решены следующие задачи:

- 1) сравнительный анализ методики расчета дальности действия тепловизионных приборов;
- 2) создание пользовательского интерфейса и программного обработчика событий, инициируемых пользователем;
- 3) апробация программного продукта.

Методы и материалы

Для разработки программного интерфейса была выбрана методика расчета, на основе которой разрабатывалась программа. Для этого был проведен сравнительный анализ трех методик: методики расчета с использованием геометрических характеристик каналов, методики расчета с использованием энергетических характеристик каналов и методики расчета с использованием энергетических характеристик каналов на основе перехода объединенных параметров температурной чувствительности и разрешения [2].

Основные формулы каждой методики, по которым производится расчет дальности действия, представлены ниже.

$$l = v \frac{f' h_{kp}}{N}, \quad (1)$$

$$l = \frac{h_{kp} \gamma_{0x}}{C \sigma} \sqrt{-\frac{0.7}{\ln(1-p)}}, \quad (2)$$

$$l = \frac{hr_{\Sigma}(v) \Delta T_{раз} (T_e \cdot f_k)^{1/2} C_2 D^* (d/f')^2 f' \int_{\lambda_1}^{\lambda_2} \left[\frac{S(\lambda) \tau_o(\lambda) \tau_a(\lambda) \times}{\times \varepsilon(\lambda) W(\lambda, T) \lambda^{-1}} \right] d\lambda}{6\sqrt{2} k_3 T^2 \sqrt{\Delta f_R} N \cdot m}. \quad (3)$$

Методики расчета с использованием геометрических характеристик каналов, методики расчета с использованием энергетических характеристик каналов имеет ряд несовершенств, одним из которых является наличие ряда пространственных фильтров между точкой, для которой измеряется $\Delta T_{\text{пор}}$ и получаемым изображением. Это такие фильтры, как источники шумов, например, инерционность приемника, экран с получаемым изображением и глаз оператора, рассматриваемый с позиции пространственно-частотного оптического фильтра. Также в методике не уделяется внимание влиянию пространственно-частотных характеристик самого объекта [3].

На основании анализа литературы [2] по энергетическим методам расчета параметров тепловизионных камер можно сделать вывод, что основное внимание инженеров, разрабатывающих тепловизионные системы, направлено на минимизацию зависимости параметров $\Delta T_{\text{пор}}$ и $\Delta T_{\text{раз}}$, что оптимизирует все параметры тепловизионной камеры, входящие в первоначальные расчеты, вследствие чего повышается их эффективность. С другой стороны, вследствие этого оценке дальности действия не уделяется должного внимания.

В результате проведенного анализа методик, для разработки программного обеспечения была выбрана методика расчета на основе объединенных параметров температурной чувствительности и разрешения. Основные формулы, по которым производится расчет требуемой величины, представлены на ниже:

$$\Delta T_{\text{пор}} = \frac{\pi k_3 T^2 m \sqrt{ab \Delta f_R}}{D^* \alpha \beta C_2 A_0 \int_{\lambda_1}^{\lambda_2} S(\lambda) \tau_o(\lambda) \tau_a(\lambda) W(\lambda, T) \lambda^{-1} d\lambda}, \quad (4)$$

$$\Delta T_{\text{раз}} = \frac{3 \Delta T_{\text{пор}} \nu \sqrt{\alpha \beta}}{r_{\Sigma}(\nu) \sqrt{\tau \Delta f_R T_e f_k}}, \quad (5)$$

$$l = \frac{hr_{\Sigma}(\nu) \Delta T_{\text{раз}} (T_e \cdot f_k)^{1/2} C_2 D^* (d/f')^2 f' \cdot \int_{\lambda_1}^{\lambda_2} \left[\begin{array}{l} S(\lambda) \tau_o(\lambda) \tau_a(\lambda) \times \\ \times \varepsilon(\lambda) W(\lambda, T) \lambda^{-1} \end{array} \right] d\lambda}{6 \sqrt{2} k_3 T^2 \sqrt{\Delta f_R} N \cdot m}. \quad (6)$$

где D^* и $S(\lambda)$ – удельная обнаружительная способность и относительная спектральная чувствительность приемника оптического изображения (ПОИ); (a, b) и Δf_R – линейные размеры и шумовая полоса частот электрической схемы включения ПОИ; (λ_1, λ_2) – границы спектральной чувствительности ПОИ; k_3 – коэффициент использования ПОИ излучения эталонного источника; m – отношение «сигнал/шум»; A_0 и (α, β) – площадь входного зрачка и линейные углы мгновенного поля зрения объектива тепловизора по строке и по кадру; $W(\lambda, T)$ – спек-

тральная светимость АЧТ с температурой T ; $T(x,y)$ и $T_{\phi}(x,y)$ – функции распределения температуры по поверхности объекта и фона в случае наблюдения прибором неоднородных тепловых полей объектно-фоновой обстановки; \bar{T} – среднее значение температуры поверхности объекта и фона; $\varepsilon(\lambda)$ и $\varepsilon_{\phi}(\lambda)$ – спектральный коэффициент излучения поверхности объекта и фона; $\tau_o(\lambda)$ и $\tau_a(\lambda)$ – спектральный коэффициент пропускания оптической системы тепловизора и слоя атмосферы между объектом и прибором; C_2 – постоянная в формуле Планка; $\Delta W(\lambda, T(x,y), \bar{T})$ и $\Delta W_{\phi}(\lambda, T_{\phi}(x,y), \bar{T}_{\phi})$ – абсолютный контраст спектральной светимости АЧТ, имеющих температуры аналогичные температурам поверхности объекта и фона соответственно; T_e и f_k – постоянная времени глаза и частота кадров тепловизора; ν – пространственная частота в пространстве предметов, рад-1; $K(\Phi_{\phi})$ – коэффициент, учитывающий увеличение порогового сигнала ПОИ за счет засветки постоянной составляющей фона; $r_{\Sigma}(\nu)$ – результирующий модуль передаточной функции (МПФ) всех звеньев тепловизора; $\alpha_{\phi} = \alpha - \alpha_0$; $\beta_{\phi} = \beta - \beta_0$; (x_0, y_0) , (x_{ϕ}, y_{ϕ}) – декартовы координаты поверхности объекта и фона в пространстве предметов [4].

Результаты

Алгоритм работы разрабатываемой программы был построен на основе описанной методики расчета с использованием формул (4)-(6) при учете передаточных функций и представлен на рис. 1 в виде блок-схемы. На первом этапе создавали пользовательский интерфейс с использованием инструментов среды разработки VisualStudio 2021. При создании интерфейса применялись следующие компоненты: label, textbox, button. Компонент label применялся для создания поясняющих подписей, компонент textbox – для ввода необходимых значений соответствующих параметров, компонент button – для запуска обработчиков расчетов. Разместив все необходимые элементы на форме и произведя их настройки, получили интерфейс будущей программы, представленный на рис. 2 [5].

На втором этапе было необходимо создать обработчик события Click кнопки «Рассчитать». При нажатии на данную кнопку все введенные в поля параметры записываются в соответствующие переменные, создаются необходимые для расчетов константы. Далее обработка события происходит согласно разработанной блок-схеме. Для снижения общей сложности программы было произведено разбиение на отдельные методы, в которых происходит расчет конкретных величин [7].

При вызове метода `spectral_luminosity` в него передаются необходимые параметры и происходит расчет спектральной.

При вызове метода `temperature_resolution` происходит передача необходимых параметров и расчет величин $\Delta T_{\text{пор}}$ и $\Delta T_{\text{раз}}$.

В программе также был реализован фильтр вводимых в соответствующие поля символов путем считывания кода нажимаемых клавиш. Данная функция необходима для исключения ввода некорректных символов, например, буквенных или специальных символов, в поля ввода значений величин.

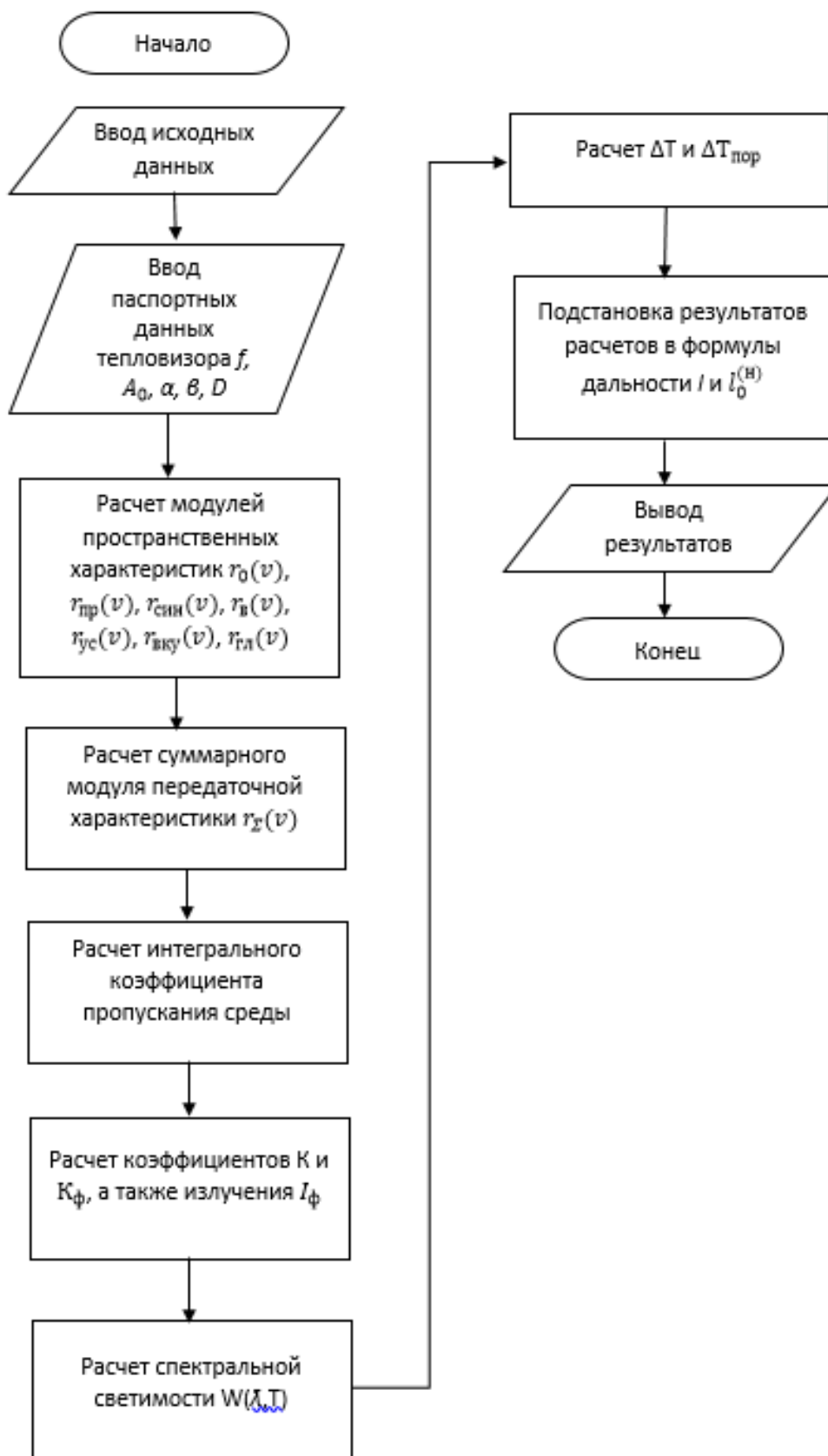


Рис. 1. Блок-схема алгоритма расчетов

Расчет дальности действия тепловизора на основе объединенных параметров...

О программе

Ввод исходных данных

d, см	<input type="text"/>	Kэ	<input type="text"/>
λ_1 , мкм	<input type="text"/>	T, К	<input type="text"/>
λ_2 , мкм	<input type="text"/>	N	<input type="text"/>
Шаг λ , мкм	<input type="text"/>	m	<input type="text"/>
f, см	<input type="text"/>	a, см	<input type="text"/>
D^* , см * [Вт] ⁽⁻¹⁾ [Гц] ^(1/2)	<input type="text"/> * 10 <input type="text"/>	b, см	<input type="text"/>
τ_d , сек	<input type="text"/> * 10 <input type="text"/>	τ	<input type="text"/>
d_a	<input type="text"/>		
d_m, см	<input type="text"/>		
h, см	<input type="text"/>		
T раз, К	<input type="text"/>		
T пор, К	<input type="text"/>		
Sum	<input type="text"/>		
Re	<input type="text"/>		
Искомая величина L, м	<input type="text"/>		

Рис. 2. Интерфейс разрабатываемой программы

Для тестирования данного проекта был выбран метод модульного тестирования, так как он является наиболее удобным и информативным в данных условиях [8], [9].

После окончания разработки и отдельного тестирования каждого модуля проекта, было проведено общее тестирования приложения с целью поиска, ошибок работы программы в целом, конфликтов скриптов. Тестирование не выявило каких-либо проблем в работе приложения. Результат тестирования представлен ниже (рис. 3).

Расчет дальности действия тепловизора на основе объединенных параметро...

О программе

Ввод исходных данных

d, см	<input type="text" value="16"/>	Кэ	<input type="text" value="0.8"/>
λ_1 , мкм	<input type="text" value="8"/>	T, K	<input type="text" value="310"/>
λ_2 , мкм	<input type="text" value="12"/>	N	<input type="text" value="10"/>
Шаг λ , мкм	<input type="text" value="0.5"/>	m	<input type="text" value="1"/>
f, см	<input type="text" value="28"/>	a, см	<input type="text" value="0.003"/>
D^* , см * [[Вт]] ⁽⁻¹⁾ * [[Гц]] ^(1/2)	<input type="text" value="1.8"/> * 10 ^{<input type="text" value="11"/>}	b, см	<input type="text" value="0.003"/>
τ_d , сек	<input type="text" value="1"/> * 10 ^{<input type="text" value="-6"/>}	τ	<input type="text" value="1"/>
d_a	<input type="text" value="0.8"/>		
d_m, см	<input type="text" value="0.01"/>		
h, см	<input type="text" value="180"/>		
T раз, K	<input type="text" value="37.831"/>		
T пор, K	<input type="text" value="339.811"/>		
Sum	<input type="text" value="2.769"/>		
Re	<input type="text" value="0.0996"/>		
Искомая величина L, м	<input type="text" value="430.298"/>		

Рис. 3. Результат тестирования приложения

Заключение

В результате выполненных работ был проведен анализ существующих методик, позволяющих рассчитать дальность действия тепловизионного устройства. На основании данного анализа в основу разрабатываемого программного обеспечения легла методика, позволяющая наиболее точно рассчитать необходимую характеристику.

Тепловизор может использоваться совместно с квадрокоптером для ведения свободной воздушной разведки, что ставит под угрозу коммерческую и государственную тайну.

Беспилотный летательный аппарат или обычный квадрокоптер является основным устройством, используемым для воздушной разведки. Совместив тепло-

визионную камеру наблюдения с ним, можно получить необходимые сведения о наблюдаемом объекте.

В результате выполненных работ было разработано программное обеспечение, позволяющее рассчитать дальность действия тепловизионного устройства.

Перспективами развития разработанного программного обеспечения является выпуск новой версии, основными нововведениями будут: работа с базами данных, в том числе просмотр результатов предыдущих расчетов, расчет дальности действия в неоднородном поле температур.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1 Военное обозрение: официальный сайт. – Москва. – Обновляется в течение суток. – URL: <https://vpk.name> (дата обращения: 10.04.2023). – Текст: электронный.

2 Информационно-аналитический журнал Рубеж: официальный сайт. – URL : <https://rubezh.ru/andrej-lunev/36461-gradus-bezopasnosti-vosem-zadach-kotoryie-reshayut-teplovizoryi> (дата обращения : 15.04.2021). – Текст : электронный.

3 Кулакова Н.Н., Мишин С.В. Анализ результатов расчета дальностей обнаружения, распознавания и идентификации тепловизионной системы по двум методикам / Н. Н, Кулакова, С. В Мишин // Котненант. - 2015. - Т. 14. - № 1. - С. 49–53.

4 Новиков С.Н., Поликанин А.Н. Методика расчета дальности действия тепловизора на основе объединенных параметров температурной чувствительности и разрешения / С. Н. Новиков, А. Н. Поликанин – Текст: непосредственный // Труды учебных заведений связи. - 2019–№ 5 (4). – С. 6–14.

5 Образовательная платформа GeekBrains: официальный сайт. – URL: https://gb.ru/posts/c_sharp_ides (дата обращения : 20.05.2021). – Текст: электронный.

6 Пеграм: официальный сайт. – URL : <https://www.pergam.ru/articles/teplovizor.htm> (дата обращения : 15.04.2021). – Текст : электронный.

7 Филин Е. Д., Киричек Р. В. Методы обнаружения малоразмерных беспилотных летательных аппаратов на основе анализа электромагнитного спектра / Е. Д. Филин, Р. В. Киричек. – Текст: непосредственный // Информационные технологии и телекоммуникации. – 2018. – Т. 6. – № 2. – С. 87–93.

8 Developer.com : официальный сайт. – URL : <https://www.developer.com/guides/what-is-c/> (дата обращения : 27.05.2021) – Текст : электронный.

9 Edureka.co: официальный сайт. – URL: <https://www.edureka.co/blog/visual-studio-tutorial/> (дата обращения : 20.05.2021). – Текст : электронный.

10 EVIDENCE : Использование тепловизоров в системах безопасности : сайт. – URL: <https://e-vidence.ru/> (дата обращения : 20.04.2023). – Текст : электронный.

© А. С. Грехов, А. Н. Поликанин, Д. Н. Тутов, 2023