

*Розглянуто питання побудови комбінованих двохступневих структур послідовної локації об'єктів. Показана можливість побудови статичних та динамічних двохступневих локаційних систем. Запропоновано енергоінформаційний критерій для оптимізації сканерної системи, що здійснюють похиле сканування. Показаний приклад оптимізації функціонування сканера системи, що здійснює похиле сканування в другому ступені системи локації*

*Ключові слова: локація, оптимізація, сканер, система, критерій, похиле сканування, інформація, зображення, БПЛА, зондування*

*Рассмотрены вопросы построения комбинированных двухступенчатых структур последовательной локации объектов. Показана возможность построения статических и динамических двухступенчатых локационных систем. Предложен энергоинформационный критерий для оптимизации сканерных систем, осуществляющих наклонное сканирование. Показан пример оптимизации функционирования сканерной системы, осуществляющей наклонное сканирование во второй ступени системы локации*

*Ключевые слова: локация, оптимизация, сканер, система, критерий, наклонное сканирование, информация, изображение, беспилотный летательный аппарат, зондирование*

УДК 621.446; 669.017

DOI: 10.15587/1729-4061.2015.36189

# ОПТИМИЗАЦИЯ НАКЛОННОГО СКАНИРОВАНИЯ В СИСТЕМАХ КОМБИНИРОВАННОЙ ДВУХСТУПЕНЧАТОЙ ЛОКАЦИИ

**Н. А. Абдуллаев**

Кандидат технических наук,  
доцент, старший научный сотрудник  
НИИ Министерства Обороны  
Промышленности Азербайджанской Республики\*  
E-mail: nabdullayev@rambler.ru

**Х. Г. Асадов**

Доктор технических наук, доцент, начальник отдела  
НИИ Аэрокосмической Информатики\*  
E-mail: asadzade@rambler.ru  
\*ул. Г. Мамедова, 25, г. Баку, Азербайджан, AZ1123

## 1. Введение

Одним из направлений локации объектов является построение комбинированных двухступенчатых структур локализации [1–6].

По назначению комбинированные структуры двухступенчатой локации можно разделить на следующие группы:

1. Производственно-бытового назначения.
2. Военного назначения.

Комбинированным локационным системам производственно-бытового назначения посвящено немало работ [1–3]. В таких системах решается задача повышения точности локации за счет организации последовательной локализации координат искомых объектов. Например, в работе [3] рассматривается вопрос о локализации места утечки жидкости методами термографии и ультразвуковой акустики. В работе [5] рассматривается вопрос о преследовании роботом человека в движении. В первой ступени локации в этой системе путем модуляции поле обзора сенсора осуществляются опорные измерения движущегося человека с различных ракурсов. Анализ полученных результатов во второй ступени локации позволяет определить направление движения человека с применением пироэлектрических инфракрасных сенсоров.

Комбинированные структуры локализации военного назначения в частности рассмотрены в [1, 2, 4, 5]. Например, в работе [1, 2, 4] предлагается совместное использование акустических сенсоров и инфракрасных электронно-оптических систем для организации двухступенчатой локации огневых средств противника.

Следует отметить, что комбинированные структуры последовательной локации могут быть реализованы в двух вариантах:

1. Статическая структура (рис. 1), где первая ступень локации определяет одну из координат цели и передает результаты ко второй ступени. Далее, вторая ступень системы определяет вторую координату цели. Подобная система в частности, изложена в работе [6].
2. Динамическая структура (рис. 2), где первая ступень системы определяет текущие координаты движущейся второй ступени, которая в свою очередь определяет координаты цели.

Далее, в настоящей статье рассматривается вопрос об обеспечении оптимального функционирования второй ступени последовательной двухступенчатой акустико-инфракрасной локации. Имеется в виду, что вторая ступень комбинированной системы локации реализуется на базе управляемых летательных средств (самолет, вертолет или БПЛА). При этом рассматривается случай, когда на борту летательного

аппарата установлен инфракрасный сканер, осуществляющий наклонное сканирование. В данной статье подробно рассматривается вопрос об энерго-информационной оптимизации наклонного сканирования в ИК диапазоне во второй ступени.

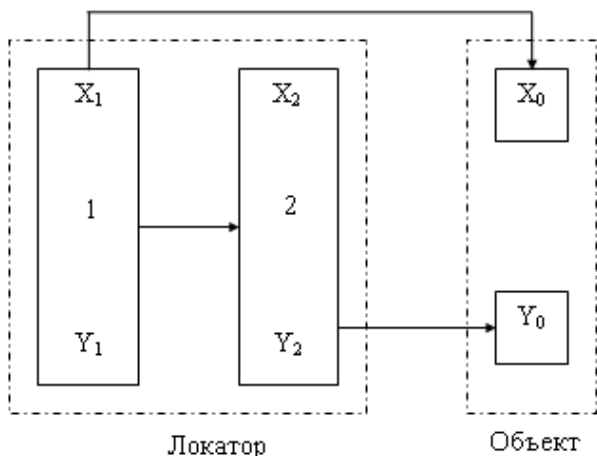


Рис. 1. Комбинированная система локации последовательного действия статического типа.

Принятые обозначения:  $X_1, Y_1$  — координаты первого звена локатора;  $X_2, Y_2$  — координаты второго звена локатора;  $X_0, Y_0$  — координаты объекта; 1 — первое статическое звено локатора; 2 — второе статическое звено локатора

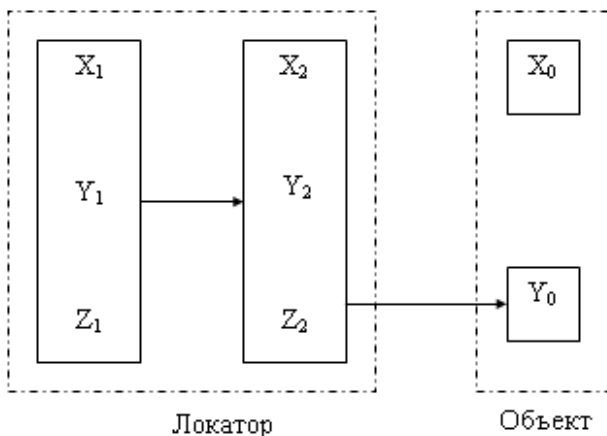


Рис. 2. Комбинированная система локации последовательного действия динамического типа.

Принятые обозначения:  $X_1, Y_1, Z_1$  — координаты первого статического или динамического звена локатора;  $X_2, Y_2, Z_2$  — координаты второго динамического звена локатора;  $X_0, Y_0$  — координаты объекта

## 2. Анализ литературных данных и постановка проблемы

Несколько подробно рассмотрим проблемы, возникающие при осуществлении наклонного сканирования при дистанционном зондировании поверхности различных объектов.

Как отмечается в работе [7], при дистанционном зондировании Земли, а также при проведении лим-

бовых измерений облаков, широко используются полярные орбиты спутников с наклоном. Например, спутник Европейского Космического Агентства ENVISAT, запущенный в марте 2002-го года, имел орбиту, позволяющую ему осуществить глобальный охват от полюса до полюса с периодом орбитального повтора 35 дней. Содержащийся в этом спутнике инфракрасный интерферометр Михельсона (MIPAS) имел трапециевидальное поле обзора в вертикале в пределах 3–4 км, а также широкое горизонтальное поле обзора в пределах 200 км вдоль строки сканирования.

Согласно работе [8], размер пикселя изображения на поверхности Земли при осуществлении наклонного сканирования зависит от надирного угла. Например, в спутниках IKONOS и QuickBird зависимость размера пикселя поперек направления обзора ограничена, что вызывает некоторое уменьшение контраста. Однако в направлении обзора размер пикселя изменяется достаточно сильно. Например, при надирном угле 45° размер пикселя увеличивается вдвое.

Как сообщается в работе [9], топографическая коррекция, которая устраняет различные эффекты, вызванные наклоном местности, является важным этапом в предварительной обработке бортовой информации.

Согласно [9], топографическая коррекция представляет собой транспортирование радиационных яркостных данных или данных об отраженной радиации пикселей на наклонной плоскости в данные другой опорной плоскости с целью устранения топографических эффектов. При этом, один и тот же объект имеющий различные азимутальные координаты по Солнцу должен иметь одинаковые спектральные реакции.

Как отмечается в работе [8] для воспроизводящих систем важно добыть максимальное количество информации исследуемой сцены, при этом скорость передачи данных должны быть по возможности минимальной. Для воспроизводящих систем в качестве критерия предлагается показатель информационной эффективности. Этот показатель, определен как отношение информационной плотности к плотности данных в передаваемых сообщениях.

Согласно работе [10], большинство природных визуальных задач включает в себя выбор определенного количества объектов, подлежащих фиксации. При этом следует учесть, что пространственное распределение и волновая чувствительность фоторецепторов на поверхности сетчатки неоднородны. Согласно [10], принцип активного выбора в зависимости от решаемой задачи является частью процесса формирования закономерностей во входных визуальных данных. Следовательно, различимость объектов является мерой важности, зависящей от решаемой задачи. В работах [11, 12] предложена стратегия, согласно которой различимость объектов определяется как результат максимизации декомпозиции методом анализа независимых компонент. В работе [13] среднеквадратическая величина контраста оценивалась с использованием множества фиксированных точек, заданных наблюдателем, наблюдающим за статическими изображениями пейзажа. Сформированная при этом модель различимости базировалась на минимизации суммарной контрастной энтропии.

Как отмечается в работе [14], информационное содержание изображения в основном ограничивается пространственным и спектральным разрушением воспроизводящей системы. Для оценки качества обработанного изображения предлагаются два метода измерения: определение энтропии и определение шумового индекса изображения. Недостаток энтропии заключается в неспособности этого показателя различить информацию от шумов. Дело в том, что энтропия отображает не «полезность» информации, а частотность изменения элементов изображения. Согласно [14], предлагаемый в этой работе индекс зашумленности позволяет определить улучшение или ухудшение качества изображения после его обработки.

С учетом вышеизложенного задача исследования в настоящей статье формируется следующим образом. Рассматривается динамическая структура последовательной двухступенчатой структуры локации, в которой динамическим звеном является БПЛА, содержащий сканер, осуществляющий наклонное сканирование. В отличие от известных решений подобных задач оптимизации, предлагается энергоинформационный критерий оптимизации функционирования динамического звена последовательной комбинированной структуры локатора.

### 3. Цель и задачи исследования

Целью настоящей работы является создание научно-теоретической базы повышения эффективности комбинированных последовательных структур систем локации динамического типа.

Для достижения этой цели решались следующие задачи:

1. Разработка нового критерия оптимизации последовательных локационных структур комбинированного типа, содержащих статистическое звено и второе динамическое звено, осуществляющих первое статическое звено и второе динамическое звено, осуществляющее наклонное сканирование.

2. Оптимизация режима наклонного сканирования второго звена.

Хорошо известна тесная взаимосвязь таких классических задач информационной техники как позиционирование, локация и дистанционное зондирование. Общая информационная модель, отображающая единые подходы к решению этих задач, была предложена в работе [15]. Наличие общей информационной «оболочки» решения этих важных задач определяет их взаимосвязанность при существенных различиях в достигаемых в этих задачах целей.

Вместе с тем, возможны комбинирование указанных задач при решении одной комплексной задачи.

Примером такой комплексной задачи может стать последовательная локализация объектов в группе в пределах фрейма сканера, установленного на динамическом втором звене (БПЛА), обеспеченного статической системой позиционирования или локации, выступающей в качестве первого звена.

Задача последовательной локализации решается по структурной формуле:

$$ПЛ=ПК+ЛПС,$$

где ПЛ – последовательная локация; ПК – позиционирование сканера; ЛПС – локализация объектов в пределах фрейма сканера.

### 4. Решение задачи выбора критерия оптимизации

Техническая реализация и решение данной задачи осуществляется по схеме, показанной на рис. 3. Реализация решения задачи двухступенчатой последовательной локации осуществляется следующим путем. Сканер, установленный на борту летательного аппарата St, осуществляет сканерную съемку земной поверхности, придав координатную привязку наблюдаемым объектам  $O_1, O_2, \dots, O_n$  в пределах кадра ABCD (рис. 3). Одновременно осуществляется позиционирование носителя сканера относительно базовых антенн GPS системы  $A_1, A_2, A_3$ . Таким образом, обеспечивается последовательная двухступенчатая локация исследуемых с помощью сканера объектов.

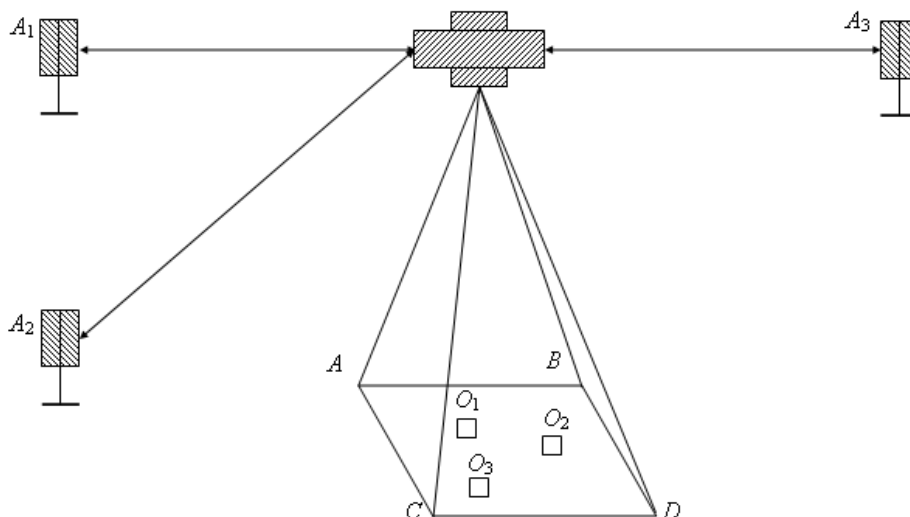


Рис. 3. Схема реализации задачи косвенной локализации объектов  $O_1, O_2, O_3$  в поле зрения сканера

Для оптимизации режима функционирования сканера на наклонных траекториях воспользуемся вновь предлагаемым энергоинформационным критерием. Энергоинформационный метод оптимизации систем дистанционного зондирования развитый в работе [16] предусматривает максимизацию следующего критерия:

$$\gamma_{\text{опт}} = \frac{M}{E}, \tag{1}$$

где  $M$  – количество добываемой системой информации об удаленном объекте;  $E$  – количество энергии сигнала, принимаемой системой при получении указанной информации. Основной смысл теории, развитой в работе [16], заключается в максимизации показателя  $\gamma$  при условии ограничения на энергию принимаемого сигнала, т. е. при условии

$$E = C = \text{const} . \quad (2)$$

В отличие от вышеуказанной работы, в настоящей статье предлагается новый информационно-энергетический критерий, обладающий более высокой чувствительностью по сравнению с критерием (1).

Основу предлагаемого способа оптимизации составляет критерий  $\gamma_1$ , определяемый как

$$\gamma_{\text{опт}} = \frac{e_1}{m_1} \quad (3)$$

при условии

$$m_1 = \text{const} , \quad (4)$$

где  $m_1$  – относительный коэффициент, характеризующий относительную оценку использования потенциально возможного количества информации для данного подкласса систем, т. е.

$$m_1 = \frac{M}{M_{\text{max}}} , \quad (5)$$

где  $M$  – количество информации, получаемой рассматриваемой системой;  $M_{\text{max}}$  – максимально возможная величина  $M$  по всему подклассу систем при максимально допустимой величине отношения сигнал/шум;  $e$  – коэффициент, характеризующий относительную оценку энергии принимаемых сигналов, определяемый как

$$e_1 = \frac{E}{E_{\text{max}}} , \quad (6)$$

где  $E$  – энергия принимаемых системой сигналов;  $E_{\text{max}}$  – максимально возможная величина  $E$  при минимально допустимой величине отношения сигнал/шум.

Основное преимущество предлагаемого критерия (3) заключается в его возможной высокой чувствительности по сравнению с критерием (1).

Покажем это, для чего критерий (1) запишем в виде отношения относительных параметров

$$\gamma_{\text{опт}} = \frac{m}{e} . \quad (7)$$

Чувствительность критерия  $\gamma_{\text{опт}}$  по  $m$  определим как

$$\left| \frac{d\gamma_{\text{опт}}}{dm} \right| = \frac{1}{e} . \quad (8)$$

Чувствительность вновь предлагаемого критерия вычислим следующим образом

$$\left| \frac{d\gamma_{\text{опт}}}{dm} \right| = \frac{e}{m^2} . \quad (9)$$

Условие предпочтения критерия 3 имеет следующий вид

$$\left| \frac{d\gamma_{\text{опт}}}{dm} \right| > \left| \frac{d\gamma_1}{dm} \right| . \quad (10)$$

С учетом выражений (8) и (9) окончательно получаем

$$e > m . \quad (11)$$

Таким образом, выражение (11) определяет условие предпочтения вновь предлагаемого критерия оптимизации.

## 5. Решение задачи оптимизации наклонного сканирования по вновь предложенному критерию

Как видно из вышеизложенного, одним из основных элементов технического решения задачи косвенной локализации является бортовой сканер, осуществляющий дистанционное зондирование объектов на поверхности Земли. Далее, в настоящей статье рассмотрим вопросы оптимизации работы бортовых сканерных систем в режиме наклонного сканирования. Отметим, что этот режим эквивалентен дистанционному зондированию на наклонных относительно исследуемых объектов траекториях полета. Актуальность рассмотрения наклонных относительно объектов, траекторий полета заключается также в том, что акустическая локация по методу триангуляции или трилатерации практически невозможно в горных массивах, характеризующихся определенным наклоном поверхности местности.

При осуществлении носителем полетов над территорией, расположенной с наклоном, например, в горной местности, формируется трапецидальный фрейм, указанный на рис. 4.

Особенность наклонного сканерного зондирования заключается в том, что фактические удлинения строк сканера на исследуемом объекте при постоянном угле обзора  $\alpha$  и при скорректированной постоянной величине строчного размера пикселя на поверхности  $\Delta l$  (рис. 4) приводят к увеличению количества измерений  $N$  по строке, т. е. имеем

$$N = \frac{L}{\Delta L} . \quad (12)$$

Принятые обозначения: ABCD – формируемый трапецидальный растр; A'B'C'D' – наклонная плоскость сканирования. СП – спутник со сканером на борту;  $a$  – угол обзора;  $b$  – угол наклона;  $L$  – длина строки;  $dl$  – размер пикселя.

В этом случае общее количество информации, добываемое сканером, оценим как

$$M_{\Sigma} = \sum_{i=1}^{n_{\text{max}}} N_i \cdot \log_2 \psi(N_i) , \quad (13)$$

где  $n_{\text{max}}$  – максимальное количество строк кадра;  $\psi(N_i)$  – отношение сигнал/шум на выходе сканера при зондировании на строке с числом элементов  $N_i$ .

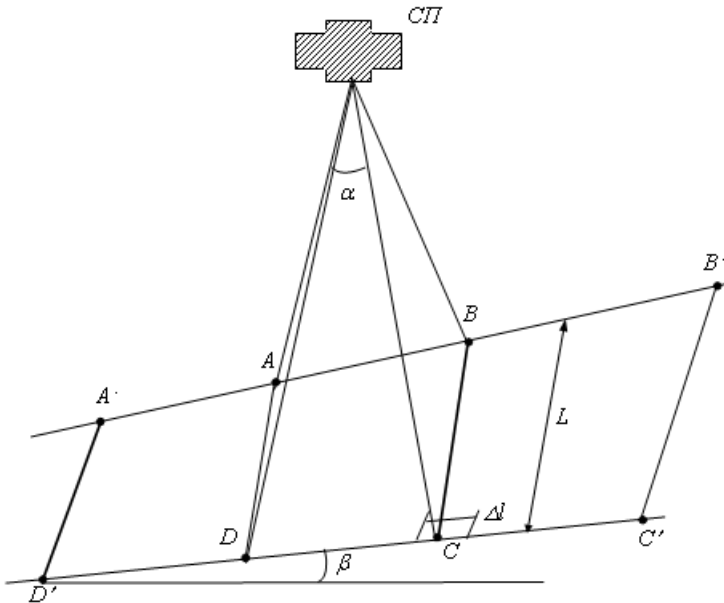


Рис. 4. Схематическое представление сканирования на наклонной местности

Суммарное количество энергии принимаемого сигнала можно оценить следующим образом

$$E_{\Sigma} = \sum_{i=1}^{n_{\max}} \psi(N_i) \tag{14}$$

С использованием выражения (3), (5), (6), (13) и (14) составим комплексный энергоинформационный показатель  $\gamma_1$ .

$$\gamma_1 = \frac{\sum_{i=1}^{n_{\max}} \psi(N_i)}{E_{\Sigma_{\max}}} = \frac{\sum_{i=1}^{n_{\max}} N_i \log_2 \psi(N_i)}{M_{\Sigma_{\max}}} = \frac{M_{\Sigma_{\max}} \cdot \sum_{i=1}^{n_{\max}} \psi(N_i)}{E_{\Sigma_{\max}} \cdot \sum_{i=1}^{n_{\max}} N_i \log_2 \psi(N_i)} \tag{15}$$

обозначим

$$\alpha = \frac{M_{\Sigma_{\max}}}{E_{\Sigma_{\max}}} \tag{16}$$

С учетом выражений (15), (16) запишем уравнение (15) для  $\gamma_1$  в непрерывной форме

$$\gamma_1 = \frac{\alpha \cdot \int_0^{N_{\max}} \psi(N) dN}{\int_0^{N_{\max}} N \cdot \log_2 \psi(N_i) dN} \tag{17}$$

С учетом условия (4), используя выражение (17) можно составить следующее уравнение вариационной безусловной оптимизации

$$F_1[\alpha, \psi(N), N_{\max}] = \alpha \int_0^{N_{\max}} \psi(N) dN + \lambda \int_0^{N_{\max}} N \cdot \log_2 \psi(N) dN \tag{18}$$

Согласно методу Эйлера, оптимальная функция, приводящая функционал (18) к его экстремальному значению, удовлетворяет условию

$$\frac{d[\alpha \cdot \psi(N) + \lambda \cdot N \log_2 \psi(N)]}{d\psi(N)} = 0 \tag{19}$$

С учетом выражений (18) и (19) получим

$$F_0 = \alpha + \frac{\lambda \cdot N}{(\ln 2) \psi(N)} = 0 \tag{20}$$

Из выражения (20) находим

$$\psi(N) = -\frac{\lambda N}{\alpha \cdot \ln 2} \tag{21}$$

По условию (4), с учетом (13) можем написать следующее уравнение в непрерывной форме

$$m = \frac{\frac{1}{N_m} \int_0^{N_m} N \log_2 \psi(N) dN}{M_{\max}} = C_1 \tag{22}$$

С учетом выражений (21) и (22) получим

$$\frac{\int_0^{N_m} N \cdot \log_2 \left[ -\frac{\lambda N}{\alpha \ln 2} \right] dN}{M_{\max}} = C_1 \tag{23}$$

Допуская отрицательность  $\lambda$  имеем

$$C_1 \cdot M_{\max} = \log_2 |\lambda| \cdot \int_0^{N_m} N dN + \int_0^{N_m} N \cdot \log_2 \frac{N}{\alpha \ln 2} dN \tag{24}$$

Из выражения (24) получим

$$\log_2 |\lambda| = \frac{C_1 \cdot M_{\max} - \int_0^{N_m} N \cdot \log_2 \frac{N}{\alpha \ln 2} dN}{\int_0^{N_m} N dN} \tag{25}$$

В этом случае

$$\psi(N) = \frac{|\lambda| \cdot N}{\alpha \cdot \ln 2} \tag{26}$$

Определение типа экстремума осуществляется путем выяснения знака производной выражения (20) по  $\psi(N)$ . Имеем

$$\frac{dF_0}{d\psi(N)} = \frac{|\lambda|N}{(\ln 2) \cdot \psi^2(N)}. \quad (27)$$

Положительность  $\frac{dF_0}{d\psi(N)}$  указывает на то, что при вновь введенном критерии оптимизации (3) оптимальный режим работы, т. е. минимальное значение этого критерия, достигается при решении (26).

Таким образом, показано, что работа бортового сканера может быть оптимизирована по вновь введенному критерию информационно-энергетической эффективности.

## 6. Модельные исследования экстремальных свойств информационных характеристик наклонного сканирования

Прежде всего, вычислим экстремальные показатели сканера системы последовательной локации в оптимальном режиме функционирования. Экстремальную величину целевого функционала (18) с учетом выражений (26) и (22) определим как

$$F_1[\alpha, \psi(N), N_{\max}] = \int_0^{N_{\max}} \frac{|\lambda| \cdot N}{\ln 2} dN + \lambda C_1 \cdot M_{\max} \cdot N_m, \quad (28)$$

где

$$M_{\max} = \frac{1}{N_m} \int_0^{N_{\max}} N \cdot \log_2 \psi_{\text{opt}}(N) dN.$$

Выражение (28) с учетом (21) запишем как

$$F_1[\alpha, \psi(N), N_{\max}] = \int_0^{N_{\max}} \frac{|\lambda| \cdot N \cdot dN}{\ln 2} + C_2 = \frac{|\lambda| \cdot N_{\max}^2}{2 \ln 2} + C_2, \quad (29)$$

где

$$C_2 = \lambda \cdot C_1 \cdot M_{\max} \cdot N_m.$$

Допустим, что решение оптимизационной задачи было получено в виде

$$\psi(N) = \frac{k \cdot |\lambda| N}{\alpha \cdot \ln 2}. \quad (30)$$

С учетом (18) и (30) получим

$$F_1[\alpha, \psi(N), N_{\max}] = \frac{k N^2}{2 \ln 2} + \lambda \int_0^{N_{\max}} N \cdot \log k dN + \lambda \int_0^{N_{\max}} N \cdot \log \frac{(\lambda) N}{\alpha \cdot \ln 2} dN. \quad (31)$$

Как видно из выражения (31), при  $k > 1$  с ростом  $k$  происходит рост первого члена и уменьшение второго

члена (31) из-за отрицательности  $\lambda$ . Также при  $k < 1$ , с уменьшением  $k$  происходит уменьшение первого члена и увеличение второго члена (31).

Указанное обстоятельство наводит на мысль о том, что функционал  $F_1$  с учетом решения (21) при  $k=1$  может иметь экстремум. Такое заключение проведенного модельного исследования косвенно подтверждает результаты, полученные в предыдущем разделе по оптимизации наклонного сканирования во втором динамическом звене двухступенчатого локатора.

## 7. Выводы

В заключение сформулируем основные выводы и положения проведенного исследования:

1. Определены возможные структуры построения двухступенчатых статических и динамических локационных систем. В частности предложена двухступенчатая статическая структура, в которой первая координата наземного искомого объекта определяется первым звеном локатора, а вторая вторым звеном. Также показана двухступенчатая динамическая структура, в которой первое статическое звено определяет координаты второго динамического звена, являющегося носителем сканера, осуществляющего наклонное сканирование.

2. Предложен новый энергоинформационный критерий для оптимизации сканерных систем, являющийся одним из основных элементов решения задачи двухступенчатой последовательной локализации. Суть предложенного энергоинформационного критерия состоит в том, чтобы заданный объем измерительной информации о локализации искомого объекта был передан с минимальной величиной затрачиваемой энергии сигнала.

3. Осуществлена оптимизация работы сканерной системы, реализующей наклонное сканирование по предложенному энергоинформационному критерию. В результате этого становится возможным определить оптимальную зависимость между отношением сигнал-шум на выходе сканера и количеством элементов в рассматриваемой строке кадра сканера. Указанная зависимость определяет оптимальный режим работы сканера, осуществляющего наклонное сканирование в смысле достижения минимума предложенного критерия энергоинформационной эффективности.

## Литература

1. Male, R. M. Rocket Artillery Launch Spotter (RLS) [Text] / R. M. Male, K. A. Sarkady, H. A. Romero, J. G. Lynn, D. M. Cordray, A. Cross, J. F. Mackrell, J. R. So-urhwick, K. Strothers, J. A. Schlupf, R. C. Celucci, M. W. Schuette, R. Eber. – Optical Sciences, 2006. – P. 1–3.
2. Counter-Rocket, Artillery, Mortar (C-RAM). Army Programs [Electronic resource] / Available at: <http://www.date.osd.mil/pub/reports/FY2006/pdf/army/2006cram.pdf>
3. Leak detection with thermography and Ultrasonic Acoustics [Electronic resource] / Available at: [asiapacificpartnership.org/pdf/PGTTF/events\\_october-06/9](http://asiapacificpartnership.org/pdf/PGTTF/events_october-06/9)

4. US Patent # 5,970,024. Acousto-optic weapon location system and method [Text] / Thomas S. – Appl. No.: 08/834,754; Filed: April 30, 1997. – Available at: <http://www.patents.com/us-5970024.html>
5. Feng, G. Infrared motion sensing system for human-following robots [Text] / G. Feng, X. Guo, G. Wang // *Sensors and Actuators A: Physical*. – 2012. – Vol. 185. – P. 1–7. doi: 10.1016/j.sna.2012.06.023
6. Абдулов, Р. Н. Вопросы оптимизации применения беспилотных летательных аппаратов для поиска и слежения объектов [Текст] / Р. Н. Абдулов, Н. А. Абдуллаев, Х. Г. Асадов // *Научно-технический вестник информационных технологий, механики и оптики*. – 2013. – № 1. – С. 45–50.
7. Hurley, J. Retrieval of macrophysical cloud parameters from MIPAS: algorithm description [Text] / J. Hurley, D. Dudhia, R. G. Grainger // *Atmospheric Measurement Techniques*. – 2011. – Vol. 4, Issue 4. – P. 683–704. doi: 10.5194/amt-4-683-2011
8. Cao, L. Information efficiency in hyperspectral imaging systems [Text] / L. Cao, S. E. Reichenbach, R. M. Narayanan // *Journal of Electronic Imaging*. – 2002. – Vol. 11, Issue 3. – P. 347–353. doi: 10.1117/1.1482097
9. Gao, M.-L. Topographic correction of ZY-3 satellite images and its effects on estimation on shrub leaf biomass in mountainous areas [Text] / M.-L. Gao, W.-J. Zhao, Z.-N. Gong, H.-L. Gong, Z. Chen, X.-M. Tang // *Remote Sensing*. – 2014. – Vol. 6. – P. 2745–2764. doi: 10.3390/rs6042745
10. Carbone, A. Analysis of the local statistics at the centre of fixation during visual scene exploration [Electronic resource] / A. Carbone, F. Pirri. – Available at: [http://www.dis.uniroma1.it/~alcor/site/documents/analysis\\_of\\_the\\_local\\_statistics\\_at\\_the\\_centre\\_of\\_fixation.pdf](http://www.dis.uniroma1.it/~alcor/site/documents/analysis_of_the_local_statistics_at_the_centre_of_fixation.pdf)
11. Bruce, N. An information theoretic model of saliency and visual search [Text] / N. Bruce, J. K. Tsotsos // *Lecture Notes in Computer Science*. – 2007. – Vol. 4840. – P. 171–183. doi: 10.1007/978-3-540-77343-6\_11
12. Bruce, N. Saliency, attention, and visual search: An information theoretic approach [Text] / N. Bruce, J. K. Tsotsos // *Journal of Vision*. – 2009. – Vol. 9, Issue 3. – P. 1–24. doi: 10.1167/9.3.5
13. Raj, R. Natural contrast statistics and the selection of visual fixations [Text] / R. Raj, W. Geisler, R. Frasor, A. Bovik // *IEEE International Conference on Image Processing*. – 2005. – Vol. 3. – P. III-1152-5. doi: 10.1109/icip.2005.1530601
14. Leung, L. W. Comparison of image data fusion techniques using entropy and ini [Text] / L. W. Leung, B. King, V. Vohora // Paper presented at the 22nd Asian Conference on Remote Sensing, 2001.
15. Asadov, H. H. Information method for synthesis of optimal data subsystems designated for positioning, location and remote sensing systems [Text] / H. H. Asadov, K. Kh. Ismaylov // *Positioning*. – 2011. – Vol. 2, Issue 1. – P. 61–64. doi: 10.4236/pos.2011.21006
16. Асадов, Х. Г. Новый принцип оптимизации систем дистанционного зондирования по энергоинформационному критерию [Текст] / Х. Г. Асадов, М. Дж. Керимов // *Информационные технологии*. – 2006. – № 5. – С. 41–45.