

УДК 629.054

## РАЗВИТИЕ МЕТОДИКИ ОЦЕНКИ ДНЕВНОЙ ОПТИЧЕСКОЙ ДАЛЬНОСТИ ВИДИМОСТИ ПО ЦИФРОВЫМ ТЕЛЕВИЗИОННЫМ ИЗОБРАЖЕНИЯМ

Д. В. Начаров

Севастопольский государственный университет,  
299053, г. Севастополь, ул. Университетская, д.33

Статья поступила в редакцию 3 июня 2017 г., после доработки – 29 июля 2017 г.

**Аннотация.** Получила развитие методика оценки дневной оптической дальности видимости по цифровым телевизионным изображениям. Приведены результаты модельного эксперимента по оценке точности определения дневной оптической дальности видимости по предлагаемой методике. Предложена процедура калибровки системы оценки дальности видимости по телевизионным изображениям.

**Ключевые слова:** дальность видимости, цифровое изображение, цифровое телевидение, показатель ослабления среды.

**Abstract.** The technique for optical daytime visibility range estimation using digital television images is has been developed. Modelling results of the accuracy evaluation of proposed technique are presented. Calibration routine for system of visibility range estimation using digital television images is proposed.

**Key words:** visibility range, digital image, digital television, total scattering coefficient.

### 1. Введение

Для снижения риска возникновения чрезвычайных ситуаций в сложных метеоусловиях, таких как туман, дымка, дождь, снег, во многих областях человеческой деятельности, и, в частности, на речном и морском транспорте важную роль играет получение своевременной информации о метеоусловиях.

Наиболее значимым параметром метеоусловий при решении задач судовождения, взлета и посадки летательных аппаратов, вождения автомобильного транспорта является оптическая дальность видимости (ДВ).

В рамках развития работ [1, 2] в статье предложена методика оценки дневной оптической ДВ по яркостям известных объектов сцены при изменении условий видимости, приводятся результаты модельного эксперимента по оценке точности предлагаемой методики, а также предложена процедура калибровки системы оценки ДВ по телевизионным изображениям.

## **2. Краткий обзор существующих технических средств определения дальности видимости**

Известные средства определения ДВ характеризуются либо низкой точностью и необходимостью участия человека в процессе измерений [3], либо высокой стоимостью, поскольку требуют наличия не только приемника, но и источника излучения оптического диапазона (лазера, светодиода и т.п.) [4]. Кроме того, в ряде применений важную роль играет скрытность измерительных средств и отсутствие нежелательных излучений [5, 6].

Наиболее распространенным типом устройств для определения дальности видимости являются трансмиссометры [7, 8].

Принцип действия трансмиссометров основан на измерении коэффициента пропускания  $T_{tr}$  для импульсного излучения света при прохождении им слоя атмосферы фиксированной длины (измерительной базы трансмиссометра). По измеренному коэффициенту пропускания определяется показатель ослабления среды  $\beta$  и далее определяется оптическая дальность видимости  $D_v$  на основе соотношения [9]

$$D_v = \frac{1}{\beta} \ln\left(\frac{1}{\varepsilon}\right) = \frac{1}{\beta} \ln\left(\frac{1}{0,02}\right) = \frac{3,91}{\beta},$$

где  $\varepsilon = 0,02$  — средняя величина пороговой контрастной чувствительности зрительной системы человека.

Трансмиссометры разделяют на однобазовые и двухбазовые. Однобазовый трансмиссометр состоит из двух блоков, размещенных на концах измерительной базы: блока излучения на одном конце и фотоэлектрического приемника на другом. В двухбазовом трансмиссометре на одном конце измерительной базы размещается блок приемоизлучающий, на другом конце — отражатель и приемник света.

Трансмиссометры позволяют производить измерения дальности видимости с высокой точностью в диапазоне от 25 м до 8000 м. При этом диапазон измеряемой величины ограничен величиной измерительной базы [10].

Еще одной разновидностью приборов для измерения ДВ являются нефелометры. В отличие от трансмиссометров, измеряющих ДВ по величине ослабления светового потока, прошедшего через замутненный участок атмосферы, нефелометры измеряют составляющую рассеянного света. В основе работы нефелометра лежит явление, заключающееся в том, что пучок света, проходящий через мутную среду, претерпевает рассеяние на взвешенных в ней частицах и вследствие этого приобретает заметную яркость. Эта яркость меняется в зависимости от степени замутнения среды; измеренное значение яркости позволяет судить о степени прозрачности этой среды и ДВ [10].

Нефелометры пригодны для измерений в светлое и темное время суток. Недостатками нефелометров являются ухудшение точности измерений при наличии осадков в виде дождя и снега, низкая скорость измерений, а также сложность калибровки, связанная с отсутствием измерительной базы [10]. Кроме того, на точность измерений также может влиять появление дополнительных искусственных источников света в зоне действия прибора.

Общим недостатком трансмиссометров и нефелометров, применяемых для измерения дальности видимости, является сложность конструкции, сложность калибровки и высокая стоимость.

Представляет интерес исследование возможности оценки дневной оптической ДВ по цифровым телевизионным изображениям. При таком

подходе изображение, являющееся массивом значений яркости, можно рассматривать как информацию, полученную в результате многоканальных измерений. Наличие нескольких дополняющих друг друга измерительных каналов позволяет снизить требования к точности измерений в каждом из них. Таким образом, возможно также снижение требований к конструкции и калибровке системы оценки ДВ.

Для снижения стоимости системы оценки дневной оптической ДВ по телевизионным изображениям предлагается исключить источник оптического излучения, а в качестве приемника использовать телевизионную камеру, используемую для регистрации изображений.

### **3. Методика оценки дальности видимости по цифровым телевизионным изображениям**

Метеорологическая дальность видимости  $D_v$  определяется как наибольшее расстояние, на котором в дневное время виден черный объект на фоне неба, если угловые размеры объекта не меньше 15' [9]. На расстоянии, равном дальности видимости, контраст между яркостью черного объекта и яркостью неба у горизонта становится равным пороговой контрастности.

Основой рассматриваемой методики оценки ДВ является модель [11], в соответствии с которой яркость  $I$  изображения, полученного в условиях замутненной атмосферы, можно представить следующим выражением

$$I_i = R_i e^{-\beta d_i} + (1 - e^{-\beta d_i}) L_\infty, \quad (1)$$

где  $I_i$  — яркость  $i$ -го пикселя обрабатываемого изображения;

$R_i$  — яркость  $i$ -го пикселя изображения, определяемая отражательной способностью объекта сцены (отраженный свет), отображаемого  $i$ -ым пикселем;

$d_i$  — глубина сцены — расстояние от регистрирующего устройства до объекта сцены, отображаемого  $i$ -ым пикселем;

$L_\infty$  — яркость неба вблизи горизонта [9] — параметр, характеризующий рассеянный свет, постоянный для всех пикселей.

Для случая наблюдения черного объекта с  $R = 0$  выражение (1) принимает вид

$$I_{black} = (1 - e^{-\beta d_{black}}) L_\infty, \quad (2)$$

где  $I_{black}$  — яркость пикселя черного объекта на обрабатываемом изображении;

$d_{black}$  — расстояние от регистрирующего устройства до черного объекта.

Контраст  $K_{black}$  между яркостью черного объекта  $I_{black}$  и яркостью неба у горизонта  $L_\infty$  равен

$$K_{black} = \frac{L_\infty - I_{black}}{L_\infty} = \frac{L_\infty - (1 - e^{-\beta d_{black}}) L_\infty}{L_\infty} = e^{-\beta d_{black}}. \quad (3)$$

С учетом введенных обозначений, метеорологическая дальность видимости  $D_v$  — это такое расстояние, на котором контраст  $K_{black}$  будет равен пороговой контрастности. При оценке ДВ используется среднее значение пороговой контрастной чувствительности зрительной системы для дневных условий наблюдения, равное 0,02 [9].

Выполнив подстановку в выражении (3), получим

$$0,02 = e^{-\beta D_v}.$$

Отсюда

$$D_v = -\frac{\ln 0,02}{\beta} = \frac{3,91}{\beta}. \quad (4)$$

Таким образом, задача оценки дальности видимости сводится к определению величины показателя ослабления  $\beta$  и последующему расчету  $D_v$  по выражению (4).

При наличии пары изображений (в присутствии и отсутствии аэрозоля в атмосфере) для известного расстояния до объекта сцены, неизвестными величинами в выражении (1) являются  $L_\infty$  и  $\beta$ . Определить  $L_\infty$  и  $\beta$  можно,

записав выражения для двух яркостей изображения, соответствующего присутствию аэрозоля, и решив систему уравнений

$$\begin{cases} I_1 = R_1 e^{-\beta d_1} + (1 - e^{-\beta d_1}) L_\infty; \\ I_2 = R_2 e^{-\beta d_2} + (1 - e^{-\beta d_2}) L_\infty. \end{cases} \quad (5)$$

Уравнения (5) является системой нелинейных уравнений с параметрами  $I_1, I_2, R_1, R_2, d_1, d_2$  и искомыми величинами  $L_\infty$  и  $\beta$ . Решение системы уравнений (5) может быть найдено численно. Для определения условий решения системы уравнений (5) рассмотрим схему системы оценки дневной ДВ по ТВ изображениям, показанную на рис. 1. Яркости  $R_1$  и  $R_2$  можно определять, используя в качестве маркера объект с известными яркостями, измеренными в условиях ясной атмосферы (при  $\beta = 0$ ).

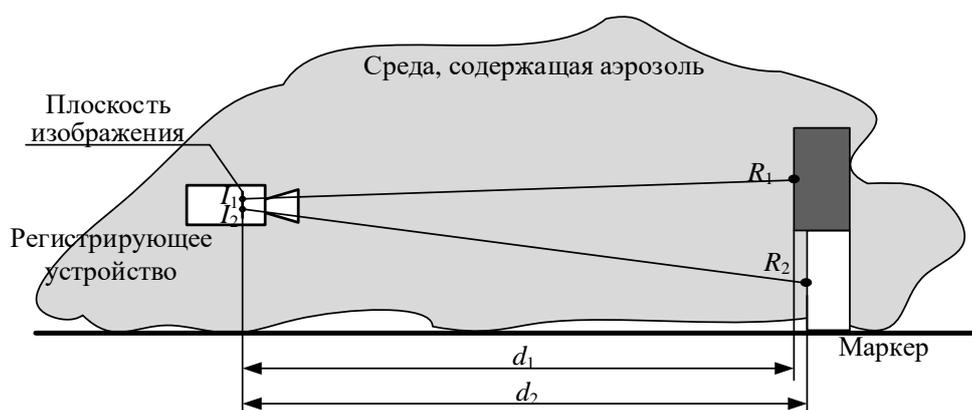


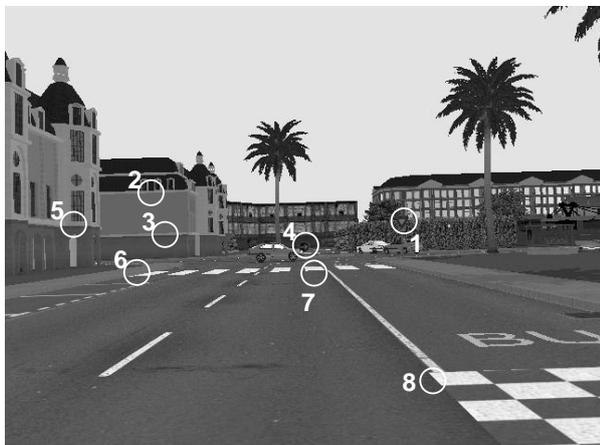
Рис. 1. Схема системы оценки дневной ДВ по телевизионным изображениям

Для численного решения системы уравнений (5) будем использовать метод доверительных областей с поиском локального минимума функции методом Пауэлла (*Trust-Region Dogleg Method*) [12, 13]. Выберем начальные приближения для  $L_{\infty 0} = 250$  и  $\beta_0 = 0$ .

Для определения точности оценки ДВ проведен модельный эксперимент с использованием синтетических изображений [14], воздействие метеофактора (тумана) на которых смоделировано по известным картам глубины. Использование синтетических изображений в модельном эксперименте позволяет, задавая произвольные значения показателя ослабления  $\beta$  и,

соответственно, ДВ, проанализировать достаточно большое количество экспериментальных случаев. Примеры синтетических изображений для трех значений  $\beta$  показаны на рис. 2.

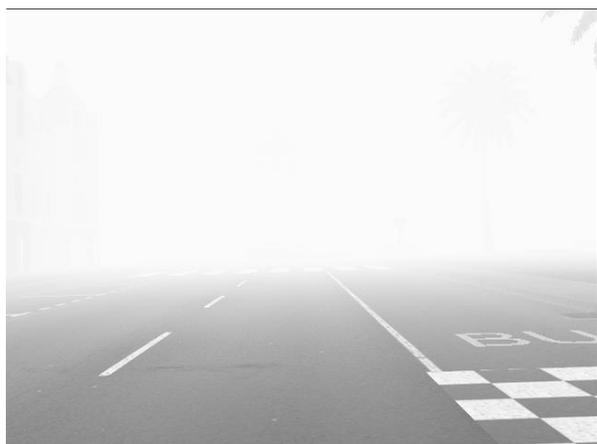
а)



б)



в)



г)



Рис. 2. Примеры синтетических изображений — исходное ( $\beta = 0$ ) (а) и с добавлением тумана с  $\beta = 0,05$  (б),  $\beta = 0,1$  (в),  $\beta = 0,004$  (г)

Изображения рис.2 получены с использованием следующих параметров:

— рис. 2,б —  $L_{\infty} = 250$  и  $\beta = 0,05$  ( $D_v = 78,20$  м);

— рис. 2,в —  $L_{\infty} = 250$  и  $\beta = 0,1$  ( $D_v = 39,10$  м);

— рис. 2,г —  $L_{\infty} = 250$  и  $\beta = 0,004$  ( $D_v = 977,50$  м).

В качестве маркеров выбраны восемь участков изображения с различными контрастом и глубиной сцены, выделенные на рис. 2,а контуром.

В таблицах 1-3 приведены исходные данные и результаты оценки показателя ослабления  $\hat{\beta}$  и  $\hat{D}_v$ .

Таблица 1 — Исходные данные и результаты оценки показателя ослабления  $\hat{\beta}$  и  $\hat{D}_v$  по синтетическим изображениям рис. 2, а,б

	Исходные данные						Результаты оценки		
	$I_1$	$I_2$	$R_1$	$R_2$	$d_1$	$d_2$	$\hat{L}_\infty$	$\hat{\beta}$	$\hat{D}_v$
Маркер 1	232	222	110	39	39,81	39,81	252	0,049	79,42
Маркер 2	248	246	129	28	76,16	76,49	250	0,052	75,84
Маркер 3	248	247	130	64	75,97	76,45	250	0,056	70,49
Маркер 4	237	234	70	12	52,22	52,22	246	0,057	68,93
Маркер 5	235	226	131	67	39,73	39,55	252	0,049	79,42
Маркер 6	244	220	218	107	30,68	30,95	251	0,050	77,67
Маркер 7	247	210	231	85	28,74	27,89	253	0,047	83,34
Маркер 8	241	111	238	67	5,34	5,36	251	0,051	76,14

Таблица 2 — Исходные данные и результаты расчета показателя ослабления  $\hat{\beta}$  и  $\hat{D}_v$  по синтетическим изображениям рис. 2, а,в

	Исходные данные						Результаты оценки		
	$I_1$	$I_2$	$R_1$	$R_2$	$d_1$	$d_2$	$\hat{L}_\infty$	$\hat{\beta}$	$\hat{D}_v$
Маркер 1	248	247	110	39	39,81	39,81	250	0,107	36,51
Маркер 2	251	251	28	129	76,16	76,49	251	0,263	14,89
Маркер 3	251	251	130	64	75,97	76,45	251	0,264	14,84
Маркер 4	250	250	70	12	52,22	52,22	250	0,383	10,21
Маркер 5	249	247	131	67	39,73	39,55	253	0,087	45,03
Маркер 6	250	245	218	107	30,68	30,95	252	0,102	38,38
Маркер 7	250	241	231	85	28,74	27,89	251	0,096	41,08
Маркер 8	243	144	238	67	5,34	5,36	250	0,102	38,19

Таблица 3 — Исходные данные и результаты расчета показателя ослабления  $\hat{\beta}$  и  $\hat{D}_v$  по синтетическим изображениям рис. 2, а,г

	Исходные данные						Результаты оценки		
	$I_1$	$I_2$	$R_1$	$R_2$	$d_1$	$d_2$	$\hat{L}_\infty$	$\hat{\beta}$	$\hat{D}_v$
Маркер 1	131	70	110	39	39,81	39,81	259	0,0038	1025,45
Маркер 2	161	88	129	28	76,16	76,49	243	0,0043	916,19
Маркер 3	161	114	130	64	75,97	76,45	237	0,0045	869,72
Маркер 4	105	57	70	12	52,22	52,22	273	0,0036	1078,88
Маркер 5	148	95	131	67	39,73	39,55	230	0,0047	827,45
Маркер 6	222	124	218	107	30,68	30,95	251	0,0041	954,94
Маркер 7	233	103	231	85	28,74	27,89	249	0,0039	985,11
Маркер 8	238	71	238	67	5,34	5,36	238	0,0044	881,83

При расстояниях до маркера, больших ДВ, наблюдаются значительные численные отклонения оценки  $\hat{D}_v$  от значения  $D_v$ . Отклонения обусловлены малым различием между яркостями  $I_1$  и  $I_2$ , то есть малой величиной контраста маркера. При этом задача численного решения системы уравнений (5) становится плохо обусловленной и, соответственно, в оценке  $\hat{D}_v$  появляется значительная ошибка, о чем свидетельствуют результаты расчета для маркеров 2-4 в таблице 2.

Таким образом, значение расстояния до маркера ограничивает минимальную ДВ, которая может быть оценена по предлагаемой методике.

Найдем зависимость относительной погрешности оценки ДВ  $\frac{\Delta D_v}{D_v}$  от величины ДВ. Определим дифференциал  $\Delta D_v$ , пользуясь выражением (4),

$$\Delta D_v = \left( -\frac{\ln 0,02}{\beta} \right)' \Delta \beta = \frac{-\ln 0,02}{\beta^2} \Delta \beta.$$

Для определения дифференциала  $\Delta\beta$  рассмотрим случай равенства расстояний до точек маркера. Тогда при  $d_1 = d_2$  система (5) примет вид

$$\begin{cases} I_1 = R_1 e^{-\beta d_1} + (1 - e^{-\beta d_1})L_\infty; \\ I_2 = R_2 e^{-\beta d_1} + (1 - e^{-\beta d_1})L_\infty. \end{cases}$$

Введем обозначение  $t = e^{-\beta d_1}$ . Тогда

$$\begin{cases} I_1 = R_1 t + (1 - t)L_\infty; \\ I_2 = R_2 t + (1 - t)L_\infty. \end{cases} \quad (6)$$

Выразим  $L_\infty$

$$L_\infty = \frac{I_2 - R_2 t}{1 - t}.$$

Подставив  $L_\infty$  в первое уравнение системы (6), получим

$$I_1 = R_1 t + (1 - t) \frac{I_2 - R_2 t}{1 - t};$$

$$t = \frac{I_1 - I_2}{R_1 - R_2}.$$

Поскольку  $\beta = \frac{-\ln t}{d_1}$  и  $\Delta\beta = \frac{\Delta t}{td_1}$ , получим

$$\Delta D_v = \frac{-\ln 0,02}{\beta^2} \frac{\Delta t}{td_1}. \quad (7)$$

Определим  $\Delta t$

$$\Delta t = \frac{\Delta I_1 - \Delta I_2}{R_1 - R_2} = \frac{\Delta I}{R_1 - R_2}. \quad (8)$$

Таким образом, можно сделать вывод о том, что погрешность оценки ДВ по предложенной методике сводится согласно выражениям (7) и (8) к погрешностям измерения яркостей  $I_1$  и  $I_2$ , а также зависит от разности  $(R_1 - R_2)$ , которая также определяет контраст маркера. При 8-битовом представлении яркости цифрового изображения примем величину  $\Delta I$  равной 1.

Выполнив подстановки для  $\beta$ ,  $t$  и  $\Delta t$ , и представим выражение (7) в виде

$$\Delta D_v = \frac{D_v^2 \frac{1}{R_1 - R_2}}{-\ln 0,02 \cdot d_1 e^{\frac{d_1 \ln 0,02}{D_v}}}$$

Таким образом, аналитическая зависимость относительной погрешности оценки ДВ, выраженной в процентах, от величины ДВ имеет вид

$$\frac{\Delta D_v}{D_v}(D_v) = \frac{D_v \frac{1}{R_1 - R_2}}{-\ln 0,02 \cdot d_1 e^{\frac{d_1 \ln 0,02}{D_v}}} \cdot 100\% . \quad (9)$$

На рис. 3 показаны графики зависимостей (9) для различных значений расстояний до маркера  $d_1$  при  $(R_1 - R_2) = 255$ .

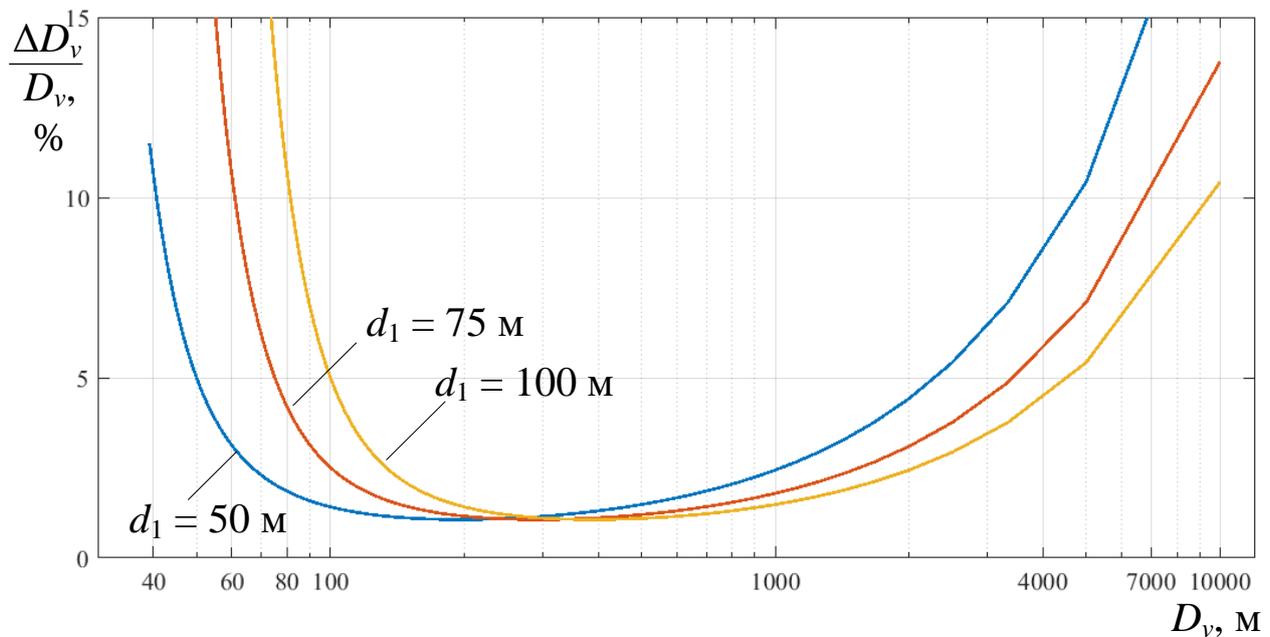


Рис. 3. Графики зависимостей  $\frac{\Delta D_v}{D_v}(D_v)$  для различных значений расстояний до маркера  $d_1$

Анализ зависимостей рис. 3 показывает, что границы диапазона оцениваемых ДВ при относительной погрешности, не превышающей заданную,

зависят от расстояния до маркера. Так при  $\frac{\Delta D_v}{D_v} < 10\%$  диапазоны оцениваемых

ДВ приблизительно равны:

- при  $d_1 = 50$  м — от 40 до 4800 м;
- при  $d_1 = 75$  м — от 60 до 7200 м;
- при  $d_1 = 100$  м — от 80 до 9600 м.

При развертывании системы оценки ДВ на реальном объекте и выборе маркера в поле зрения регистрирующего устройства становятся известны яркости  $R_1$  и  $R_2$ , а также расстояние до маркера  $d_1$ . Таким образом, для определения границ диапазона оценки ДВ, в котором относительная погрешность не превышает заданного значения, необходимо найти решения следующего уравнения относительно  $D_v$

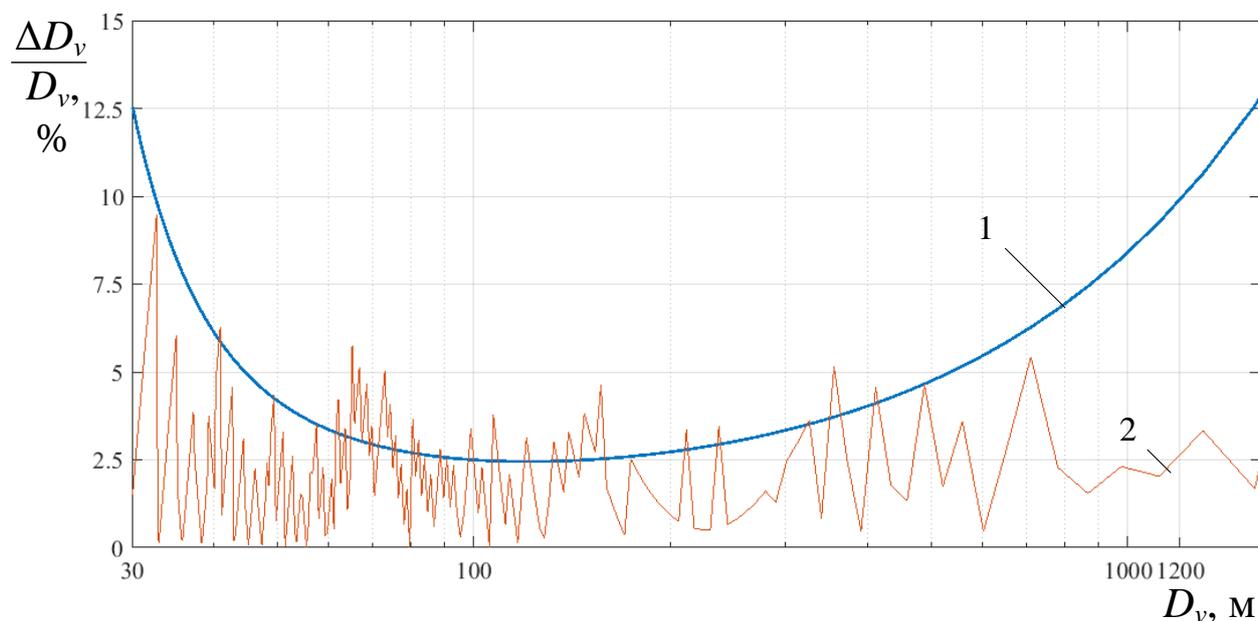
$$\frac{D_v \frac{1}{R_1 - R_2}}{-\ln 0,02 \cdot d_1 e^{\frac{d_1 \ln 0,02}{D_v}}} \cdot 100\% - \left( \frac{\Delta D_v}{D_v} \right)_{\text{зад}} = 0, \quad (10)$$

где  $\left( \frac{\Delta D_v}{D_v} \right)_{\text{зад}}$  — заданное значение относительной погрешности в диапазоне.

Поскольку уравнение (10) является трансцендентным, его решения могут быть найдены численно при задании начальных приближений  $D_{v01} = d_1$  и  $D_{v02} = 10d_1$  для определения нижней и верхней границ диапазона, соответственно.

Рассмотрим пример определения границ диапазона оценки ДВ, в котором относительная погрешность  $\left( \frac{\Delta D_v}{D_v} \right)_{\text{зад}}$  не превышает 10% для маркера б ( $d_1 = 30,68$  м,  $(R_1 - R_2) = 111$ ). Решив численно уравнения (10) с начальными приближениями  $D_{v01} = 30$  и  $D_{v02} = 3000$ , получим следующий диапазон — от 32,26 м до 1206 м.

На рис. 4 показаны аналитическая и экспериментальная зависимости  $\frac{\Delta D_v}{D_v}(D_v)$  для маркера 6. Для расчета экспериментальной зависимости  $\frac{\Delta D_v}{D_v}(D_v)$  был синтезирован набор изображений со значениями  $\beta$  в диапазоне от 0,0005 до 0,1 м<sup>-1</sup>, что соответствует изменению ДВ в диапазоне от 39,1 м до 7820 м.



1 — аналитическая зависимость

2 — экспериментальная зависимость

Рис. 4. Зависимости относительной погрешности оценки ДВ от величины ДВ для маркера 6

Полученные результаты позволяют обосновать требования к объекту, используемому в качестве маркера:

1) для уменьшения относительной погрешности ДВ различие яркостей маркера ( $R_1 - R_2$ ) следует выбирать наибольшим — равным 255 для 8-битового представления яркости;

2) расстояние до маркера  $d_1$  следует выбирать исходя из требуемых нижней и верхней границ диапазона, оцениваемых ДВ, в котором относительная погрешность не превышает заданного значения; при ( $R_1 - R_2$ ),

равной 255, приблизительные значения нижней границы диапазона равно  $d_1$ , верхней границы —  $10d_1$ .

При развертывании системы оценки ДВ на реальном объекте, например, судне, в качестве маркеров можно использовать элементы конструкции, расположенные на известном расстоянии до регистрирующего устройства. В качестве такого маркера может использоваться, например, надпись названия судна на его надстройке, или другой характерный элемент конструкции судна.

Обязательные условия — маркер должен быть неподвижен относительно объекта, на котором установлена система, и его освещенность должна определяться исключительно естественными источниками света. В качестве регистрирующего устройства может использоваться, например, видеокамера с ПЗС матрицей. Процедуры обработки, выполняемые либо специализированным процессором, либо компьютером общего назначения с соответствующим программным обеспечением, предполагают определение оценок  $\hat{L}_\infty$  и  $\hat{\beta}$  путем численного решения системы уравнений (5) и расчет оценки  $\hat{D}_v$  с указанием относительной погрешности оценки, рассчитанной по выражению (9), и последующую индикацию.

Модельный эксперимент по определению точности предлагаемой оценки ДВ проведен в предположении наличия величин яркости маркеров  $R_1, R_2$  в условиях ясной атмосферы (при  $\beta = 0$ ). Однако в реальных условиях наблюдения величина показателя ослабления  $\beta$  часто отлична от нуля.

Для определения величин  $R_1, R_2$  из системы уравнений (5) предлагается производить калибровку. В результате калибровки определяется величина показателя  $\beta_c$  в условиях атмосферы, близкой к ясной.

На рис. 5 показана схема калибровки системы оценки дальности видимости. Калибровка предполагает использование черного объекта, расположенного на известном расстоянии до регистрирующего устройства.

Наличие черного объекта позволяет описывать регистрируемую яркость  $I_{black}$  выражением (2). Из (2) получим

$$\beta_c = -\frac{1}{d_{black}} \ln\left(\frac{L_\infty - I_{black}}{L_\infty}\right).$$

В качестве значения  $L_\infty$  может быть использована фактическая яркость неба вблизи горизонта, измеренная при калибровке.

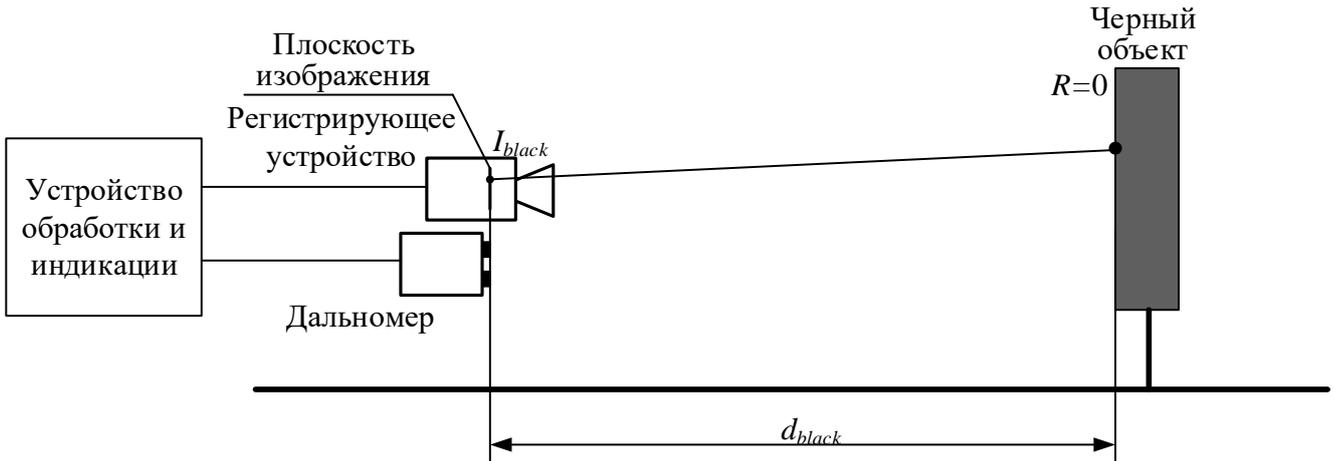


Рис. 5. Схема калибровки системы оценки ДВ

Величины  $R_1, R_2$  определяются из выражений

$$R_1 = \frac{I_{1c} - (1 - e^{-\beta_c d_1})L_\infty}{e^{-\beta_c d_1}};$$

$$R_2 = \frac{I_{2c} - (1 - e^{-\beta_c d_2})L_\infty}{e^{-\beta_c d_2}},$$

где  $I_{1c}, I_{2c}$  — яркости маркеров, измеренные при калибровке.

Таким образом, однократное проведение калибровки в произвольных условиях наблюдения позволяет уточнить величины яркостей  $R_1, R_2$  маркера и обеспечить достижение точности оценки ДВ по предлагаемой методике, определенной в результате модельного эксперимента.

В качестве черного объекта может быть применен предмет произвольной формы с оптически черным защитным покрытием [15]. Для измерения расстояний  $d_{black}, d_1, d_2$  при калибровке используется дальномер (см. рис. 5).

#### 4. Заключение

Таким образом, получила развитие методика оценки дневной оптической ДВ по ТВ изображениям. Проанализирована относительная погрешность оценки ДВ по предлагаемой методике, обоснованы требования к объекту, используемому в качестве маркера. Получены соотношения для определения границ диапазона оценки ДВ, в котором относительная погрешность не превышает заданного значения. Предложена процедура калибровки системы оценки дневной оптической ДВ по ТВ изображениям.

Предложенная система по сравнению с существующими устройствами и системами имеет следующие преимущества простоты конструкции и малой стоимости, обусловленные отсутствием источника оптического излучения и возможностью реализации системы с использованием технических средств общего назначения.

Предлагаемая система может быть размещена непосредственно на объекте (например, на судне, в аэропорту), что позволяет оперативно анализировать результаты оценки ДВ и уменьшает время принятия решения оператором.

#### Литература

1. Начаров Д.В. Система оценки дальности видимости по цифровому телевизионному изображению как средство повышения эффективности применения транспортных средств / Михайлюк Ю.П., Начаров Д.В. // Сборник научных трудов АВМС им. Нахимова. — Севастополь: АВМС им. Нахимова, 2012. — Вып. 2(10). — С.121—125.
2. Михайлюк Ю.П. Оценка дневной оптической дальности видимости по цифровому изображению / Ю.П. Михайлюк, Д.В. Начаров // Материалы XI Харьковской конференции молодых ученых «Радиофизика, Электроника, Фотоника и Биофизика». Харьков: ИРЭ НАНУ, 2011. — CD.
3. Шаронов В.В. Наблюдение и видимость / В.В. Шаронов. — М.: Изд-во Акад. наук СССР, 1943. — 80 с.

4. Vaisala Transmissometer LT31 // VAISALA. URL: <http://www.vaisala.com/en/products/visibilitysensors/Pages/LT31.aspx/> (дата обращения 15.12.2016 г.).
5. Скрытность и защита кораблей по физическим полям // FlotProm. URL: <http://flotprom.ru/publications/science/hull/introduction/11/>. (дата обращения 28.11.2016 г.)
6. Барабанщиков, В.Ф. Состояние и перспективы развития полигонов для обеспечения сдаточных испытаний корабля проекта 58250 по параметрам физических полей // Национальная библиотека Украины имени В.И. Вернадского. URL: [http://www.nbuv.gov.ua/old\\_jrn/natural/znpavms/2012\\_2/Stati\\_PDF\\_10/Barabanshikov.pdf](http://www.nbuv.gov.ua/old_jrn/natural/znpavms/2012_2/Stati_PDF_10/Barabanshikov.pdf) (дата обращения 28.11.2016 г.)
7. MITRAS Transmissometer // GBM. URL: [http://www.gbm.co.kr/data/pro\\_dwn/pdf/pro17\\_01\\_05\\_01.pdf](http://www.gbm.co.kr/data/pro_dwn/pdf/pro17_01_05_01.pdf) (дата обращения 02.10.2014 г.)
8. Датчик фактической погоды Vaisala FS11P // VAISALA. URL: <http://www.vaisala.ru/ru/airports/largeaircarrier/sensors/Pages/FS11P.aspx> — (дата обращения 02.10.2014 г.)
9. Ковалев В.А. Видимость в атмосфере и ее определение / В.А. Ковалев. — Л.: Гидрометиздат, 1988. — 215 с.
10. Волков, О. А. Измеритель дальности видимости / О.А. Волков, С.А. Денисенко, К.В. Константинов, Р. А. Круглов // Оптический журнал. — 2009. — №10 (76). — С.71 — 74.
11. Nayar S.K. Vision in Bad Weather / S.K. Nayar, S.G. Narasimhan // Proc. of the 7th IEEE International Conf. on Computer Vision. — 1999. — Vol.2. — P.820 — 827.
12. Powell, M.J.D. A Fortran Subroutine for Solving Systems of Nonlinear Algebraic Equations / M. J. D. Powell. — London: H.M. Stationery Office, 1968. — 55 p.
13. Optimization Toolbox User's Guide // Mathworks. URL: [http://www.mathworks.com/help/pdf\\_doc/optim/optim\\_tb.pdf](http://www.mathworks.com/help/pdf_doc/optim/optim_tb.pdf) (дата обращения 28.12.2016 г.)

14. FRIDA (Foggy Road Image DAtabase) // LCPC. URL: <http://www.lcpc.fr/english/products/image-databases/article/frida-foggy-road-image-database>. — (дата обращения 17.07.2013).
15. Оптически черные покрытия // Научно-производственное предприятие ООО "Сибспарк". URL: [http://www.tte-tomsk.ru/technology\\_7.php](http://www.tte-tomsk.ru/technology_7.php). (дата обращения 28.12.2016 г.)

**Ссылка на статью:**

Д. В. Начаров. Развитие методики оценки дневной оптической дальности видимости по цифровым телевизионным изображениям. Журнал радиоэлектроники [электронный журнал]. 2017. №8. Режим доступа: <http://jre.cplire.ru/jre/aug17/4/text.pdf>