



3. Popov N. A., Lebedeva I. V., Bogachyov D. S., Berezin M. M. Vozdeystvie vetrovykh i snegovykh nagruzok na bolsheprolyotnye pokrytiya [The impact of wind and snow loads on long-span coatings]. Promyshlennoe i grazhdanskoe stroitelstvo [Industrial and civil construction]. 2016. № 12. P. 71–76.
4. Khazov P. A., Anuschenko A. M., Schyolokova Yu. D., Gordeevtseva A. M. Aerodinamika bolsheprolyotnykh zdaniy [Aerodynamics of long-span buildings]. X Vserossiyskiy festival nauki. Sbornik dokladov [The X All-Russian festival of science. Collection of reports]. Nizhegor. gos. arkhitektur.-stroit. un-t. Nizhny Novgorod, 2020. № 10. P. 14–21. – URL: [https://www.elibrary.ru/download/elibrary\\_44431103\\_48241708.pdf](https://www.elibrary.ru/download/elibrary_44431103_48241708.pdf).
5. Kalieva I. Formirovanie bolsheprolyotnykh konstruksiy v arkhitekture sportivnykh zdaniy na primere Rossii [Formation of large-span structures in the architecture of sport buildings on the example of Russia]. Molodoy uchyony [Young scientist]. Kazan, 2021. № 49. P. 52–56. – URL: <https://moluch.ru/archive/391/86250/>.
6. Kuzhakhmetova E. R. Metody raschyota vant i vantovykh konstruksiy [Methods of calculating cables and cable structures]. Vestnik Belgorod. gos. tekhnologoch. un-ta BGTU im. V. G. Shukhova [The Bulletin of BSTU named after V.G. Shukhov]. Kaliningrad, 2019. № 2. P. 39–48.
7. Perelmuter A. V. Osnovy raschyota vantovo-sterzhnevnykh sistem [Fundamentals of calculation of cable-rod systems]: monografiya. – Moscow: Stroyizdat, 1969, 190 p.

© М. А. Окунева, Д. В. Сахарова, П. А. Хазов, 2022

Получено: 27.12.2021 г.

УДК 528.482

**Г. А. ШЕХОВЦОВ**, д-р техн. наук, проф. кафедры геоинформатики, геодезии и кадастра; **Ю. Н. РАСКАТКИН**, канд. техн. наук, доц. кафедры технологии строительства

## ВАРИАНТЫ КАЛИБРОВКИ ФОТОКАМЕР С ЦЕЛЮ ИЗМЕРЕНИЯ РАССТОЯНИЙ

ФГБОУ ВО «Нижегородский государственный архитектурно-строительный университет»  
Россия, 603950, г. Н. Новгород, ул. Ильинская, д. 65. Тел.: (831) 434-05-26;  
эл. почта: [kochetova@nngasu.ru](mailto:kochetova@nngasu.ru)

*Ключевые слова:* базис, калибровка, коэффициент, ошибка, пиксель, снимок, фотокамера.

*Рассматривается методика использования аналитической зависимости между измеряемым расстоянием и числовыми характеристиками в пикселях. Эти характеристики представляют собой коэффициент  $A$  и количество пикселей, соответствующих этому расстоянию. Их получают в результате калибровки фотокамеры с последующей компьютерной обработкой сделанных снимков. Приведены результаты такой калибровки путем фотографирования вертикального 3-метрового базиса через 5 м в диапазоне 5–200 м горизонтальной линии. Показаны три способа определения коэффициента  $A$ , обеспечивающие практически одинаковую точность определения расстояния. Установлено, что для каждой фотокамеры значение  $A$  и отношение разности размеров пикселя в конце и начале линии калибровки на ее длину есть величины постоянные. Доказано, что пределы фотографического способа измерения расстояний не ограничиваются длиной линии калибровки, а могут быть значительно больше ее, обеспечивая точность измерений в пределах 0–1 %.*

В настоящее время в ряде статей [1, 3, 4, 7, 10] подчеркиваются достоинства цифровой фотограмметрии, позволяющие рекомендовать ее для инженерно-геодезических измерений. Вопросам калибровки цифровых фотокамер с целью получения и уточнения трех элементов внутреннего и шести элементов внешнего ориентирования посвящены работы [2, 5, 6].

В нашей работе [8] приведены примеры использования цифровых фотокамер при: определении смещений опорных узлов ферм на оголовках колонн; наблюдении за трещинами несущих конструкций; определении радиуса и координат центра сооружений круглой формы; проверки плано-высотного положения подкрановых рельсов мостовых кранов; контроля пространственного положения зданий и сооружений башенного типа и др. При этом кроме фотографирования необходимо, как правило, определять расстояние от фотокамеры до объекта съемки. Фотографический способ определения расстояний с помощью цифровых фотокамер предусматривает установление различных зависимостей между измеряемыми расстояниями и соответствующими числовыми характеристиками в пикселях. Эти характеристики получают в результате калибровки фотокамеры путем фотографирования базиса известной длины с последующей компьютерной обработкой сделанных снимков.

В работе [9] предложен способ, основанный на определении аналитической зависимости измеряемых расстояний  $d$  от количества пикселей  $\Delta$ , приходящихся на изображенный на снимках горизонтальный базис известной длины:

$$d = A/\Delta, \quad (1)$$

где для нахождения коэффициента  $A$  на основе метода наименьших квадратов получено следующее соотношение:

$$A = [d/\Delta]/[1/\Delta^2]. \quad (2)$$

В цитируемой работе [9] для калибровки фотокамеры были выполнены снимки горизонтального базиса через интервал 0,5 м в диапазоне всего 3–30 м. В данной статье приведены результаты исследований возможности использования аналитической зависимости (1) для вертикального базиса, увеличения диапазона измеряемых расстояний и использования контрольных операций при компьютерной обработке снимков.

С этой целью было выполнено фотографирование (рис. 1) вертикального базиса (3-метровой нивелирной рейки).



Рис. 1. Фотографии базиса на расстоянии 10 м (а) и 200 м (б)

При этом фотокамера была установлена на высоте 1,5 м, а ее оптическая ось была ориентирована на середину рейки, расположенной на расстоянии 200 м. В процессе калибровки было выполнено при неподвижном положении фотокамеры



фотографирование рейки через 5 м в диапазоне 5–200 м горизонтальной линии. Каждую фотографию (размером 4608×3072 пкс) выводили на экран монитора, открывали каждый файл с помощью *Paint* и, подводя курсор к верхнему и нижнему концам рейки, отсчитывали количество пикселей В и Н, соответствующих каждому положению курсора (см. стб. 2, 3 табл. 1).

Таблица 1

### Результаты калибровки фотокамеры *Olympus E-PL5*

$d, \text{ м}$	Отсчеты по курсору, их разности, пкс. Размер пикселя, мм/пкс				$(\delta_k - \delta_n), \text{ мм/пкс}$	$(d_k - d_n), \text{ м}$	$c, \text{ мм/пкс/м}$	$d/\Delta, \text{ м/пкс}$	$1/\Delta^2, 1/\text{пкс}^2$	$d_{\text{инст}}, \text{ м}$	Ошибка, %
	В	Н	$\Delta$	$\delta$							
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
10	487	2253	1766	1,7	0,9	5	0,171	0,0057	3,21E-07	10,036	0,4
15	774	1948	1174	2,6	1,7	10	0,170	0,0128	7,26E-07	15,097	0,6
20	942	1824	882	3,4	2,5	15	0,170	0,0227	1,29E-06	20,095	0,5
25	1022	1729	707	4,2	3,4	20	0,170	0,0354	2,00E-06	25,069	0,3
30	1050	1639	589	5,1	4,2	25	0,167	0,0509	2,88E-06	30,091	0,3
35	1103	1614	511	5,9	5,1	30	0,170	0,0685	3,83E-06	34,684	-0,9
40	1145	1587	442	6,8	5,9	35	0,170	0,0905	5,12E-06	40,098	0,2
45	1159	1552	393	7,6	6,8	40	0,171	0,1145	6,47E-06	45,098	0,2
50	1179	1530	351	8,5	7,6	45	0,170	0,1425	8,12E-06	50,494	1,0
55	1203	1524	321	9,3	8,6	50	0,171	0,1713	9,70E-06	55,213	0,4
60	1237	1529	292	10,3	9,4	55	0,170	0,2055	1,17E-05	60,697	1,2
65	1217	1488	271	11,1	10,2	60	0,169	0,2399	1,36E-05	65,400	0,6
70	1230	1483	253	11,9	11,1	65	0,171	0,2767	1,56E-05	70,053	0,1
75	1260	1494	234	12,8	11,9	70	0,171	0,3205	1,83E-05	75,741	1,0
80	1260	1480	220	13,6	12,7	75	0,170	0,3636	2,07E-05	80,561	0,7
85	1258	1466	208	14,4	13,5	80	0,168	0,4087	2,31E-05	85,209	0,2
90	1273	1471	198	15,2	14,4	85	0,170	0,4545	2,55E-05	89,513	-0,5
95	1257	1443	186	16,1	15,3	90	0,171	0,5108	2,89E-05	95,288	0,3
100	1266	1442	176	17,0	16,3	95	0,171	0,5682	3,23E-05	100,702	0,7
105	1268	1435	167	18,0	16,9	100	0,169	0,6287	3,59E-05	106,129	1,1
110	1291	1452	161	18,6	17,8	105	0,169	0,6832	3,86E-05	110,084	0,1
115	1280	1434	154	19,5	18,7	110	0,170	0,7468	4,22E-05	115,088	0,1
120	13406	1453	147	20,4	19,6	115	0,170	0,8163	4,63E-05	120,568	0,5
125	1330	1471	141	21,3	20,4	120	0,170	0,8865	5,03E-05	125,699	0,6
130	1316	1452	136	22,1	21,0	125	0,168	0,9559	5,41E-05	130,320	0,2
135	1311	1443	132	22,7	21,9	130	0,169	1,0227	5,74E-05	134,269	-0,5
140	1316	1443	127	23,6	22,7	135	0,168	1,1024	6,20E-05	139,555	-0,3
145	1321	1444	123	24,4	23,5	140	0,168	1,1789	6,61E-05	144,093	-0,6
150	1332	1451	119	25,2	24,6	145	0,170	1,2605	7,06E-05	148,937	-0,7
155	1322	1436	114	26,3	25,3	150	0,169	1,3596	7,69E-05	155,469	0,3
160	1335	1446	111	27,0	26,1	155	0,168	1,4414	8,12E-05	159,671	-0,2



Окончание табл. 1

$d, \text{ м}$	Отсчеты по курсору, их разности, пкс. Размер пикселя, мм/пкс				$(\delta_k - \delta_n), \text{ мм/пкс}$	$(d_k - d_n), \text{ м}$	$c, \text{ мм/пкс/м}$	$d/\Delta, \text{ м/пкс}$	$1/\Delta^2, 1/\text{пкс}^2$	$d_{\text{вычр}}, \text{ м}$	Ошибка, %
	B	H	$\Delta$	$\delta$							
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
165	1299	1407	108	27,8	27,1	160	0,170	1,5278	8,57E-05	164,106	-0,5
170	1294	1398	104	28,8	27,7	165	0,168	1,6346	9,25E-05	170,418	0,2
175	1265	1367	102	29,4	28,6	170	0,168	1,7157	9,61E-05	173,760	-0,7
180	1289	1388	99	30,3	29,6	175	0,169	1,8182	1,02E-04	179,025	-0,5
185	1285	1381	96	31,3	30,6	180	0,170	1,9271	1,09E-04	184,620	-0,2
190	1307	1400	93	32,3	31,3	185	0,169	2,0430	1,16E-04	190,575	0,3
195	1330	1421	91	33,0	32,4	190	0,170	2,1429	1,21E-04	194,764	-0,1
200	1309	1397	88	34,1	-1,7	-10	0,170	2,2727	1,29E-04	201,403	0,7
							<b>0,170</b>	<b>31,228</b>	<b>0,001762</b>		
								$A_{200} =$	<b>17723</b>		

На основании данных табл. 1 построены графики зависимости количества содержащихся в отсчетах В и Н пикселей от расстояний  $d$  (рис. 2). По таким графикам можно выявлять возможные грубые ошибки в отсчетах В и Н.

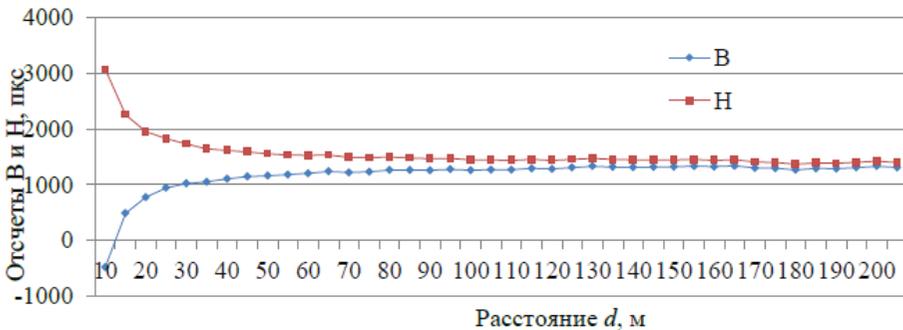


Рис. 2. Графики зависимости количества пикселей В и Н от расстояния  $d$

По разностям  $\Delta = H - B$  количества пикселей, соответствующих длине рейки (стб. 4), определяли размер  $\delta$  одного пикселя (стб. 5):

$$\delta = b/\Delta, \quad (3)$$

где  $b$  – длина базиса в мм;  $\Delta$  – разность (H–B) в пикселях (пкс).

Зависимость  $\delta$  от  $d$  может быть выражена известным равенством [8]:

$$\delta = \delta_n + (d - d_n)(\delta_k - \delta_n)/(d_k - d_n), \quad (4)$$

где  $\delta$  – размер одного пикселя на расстоянии  $d$ ;  $\delta_n$  – размер одного пикселя на расстоянии  $d_n$ ;  $\delta_k$  – размер одного пикселя на расстоянии  $d_k$ . В нашем случае  $d_n = 10$  м,  $d_k = 200$  м.

Контролем правильности вычислений размеров одного пикселя является график на (рис. 3), который должен представлять собой прямую линию.

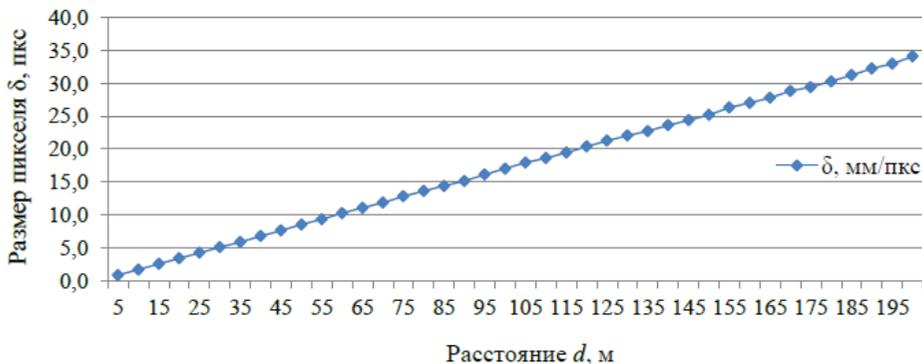


Рис. 3. График зависимости размера одного пикселя  $\delta$  от расстояния  $d$

Обратим внимание в формуле (4) на отношение с:

$$c = (\delta_k - \delta_n) / (d_k - d_n). \quad (5)$$

Используя данные стб. 1 и 5 табл. 1, подсчитаем  $(\delta_k - \delta_n)$  и  $(d_k - d_n)$ , беря в качестве  $\delta_n = 1,7$  мм/пкс значение, соответствующее  $d_n = 10$  м, а в качестве  $\delta_k$  и  $d_k$  все последующие значения  $\delta$ , соответствующие 15, 20, 25, ..., 195, 200 м (стб. 6 и 7). Теперь, если по формуле (5) определить  $c$ , то получим практически одну и ту же величину (стб. 8) в пределах 0,168–0,171 и в среднем 0,170 единиц. Если размерность  $d$  брать в метрах, а  $\delta$  – в мм/пкс, то размерность  $c$  будет мм/пкс/м. Отметим, что каждая фотокамера имеет свое постоянное значение  $c$ . Так, например, у фотокамеры *Nikon COOLPIX S9100* для горизонтального базиса оно составляет 0,262, для вертикального 0,260. Кроме того,  $c$  не зависит от измеряемого расстояния и может служить в качестве дополнительного контроля результатов калибровки и участвовать в вычислениях измеряемого расстояния.

По значениям числителя (стб. 9) и знаменателя (стб. 10) формулы (2) подсчитано значение коэффициента  $A = 17723$ . По формуле (1) найдены значения  $d_{\text{выч}}$  (стб. 11) и их относительные ошибки (стб. 12), которые находятся в пределах  $-0,9 + 1,2$  % и практически совпадают с таковыми, определенными по горизонтальному базису в работе [9]. Таким образом, аналитическая зависимость (1) является справедливой как для горизонтального, так и для вертикального базиса.

Представим формулу (1) в виде  $A = d\Delta$  и вычислим  $A$  для всех расстояний (стб. 3 табл. 2), которые теоретически должны быть равны между собой. В нашем случае они находятся в пределах 17 520–17 885 и в среднем  $A_{\text{ср}} = 17693$  м\*пкс. По формуле (1) были найдены значения  $d_{\text{выч}}$ , их отклонения от  $d$  (стб. 4) и относительные ошибки (стб. 5), которые находятся в пределах  $-1,1 + 1,0$  %.

Возьмем в качестве коэффициента  $A$  среднее арифметическое между  $A_{10}$  и  $A_{200}$ , то есть  $A_{\text{срнк}} = (A_n + A_k) / 2 = 17 630$  м\*пкс. Подсчитанные по этому значению коэффициента  $d_{\text{выч}}$ ,  $d_{\text{выч}} - d$  (стб. 6) и относительные ошибки (стб. 7), которые оказались в пределах  $-1,4 + 0,6$  %.



Таблица 2

Результаты оценки точности при средних значениях коэффициента  $A$ 

$d$ , м	$\Delta$ , пкс	Коэффициент $A$				
		$A_{\text{CP}} = 17693$			$A_{\text{CPHK}} = 17630$	
		$A$ , м*пкс	$d_{\text{выч}} - d$ , м	Ошибка, %	$d_{\text{выч}} - d$ , м	Ошибка, %
1	2	3	4	5	6	7
10	1766	17 660	0,019	0,2	-0,017	-0,2
15	1174	17 610	0,071	0,5	0,017	0,1
20	882	17 640	0,060	0,3	-0,011	-0,1
25	707	17 675	0,026	0,1	-0,064	-0,3
30	589	17 670	0,039	0,1	-0,068	-0,2
35	511	17 885	-0,375	-1,1	-0,499	-1,4
40	442	17 680	0,030	0,1	-0,113	-0,3
45	393	17 685	0,021	0,0	-0,140	-0,3
50	351	17 550	0,408	0,8	0,228	0,5
55	321	17 655	0,119	0,2	-0,078	-0,1
60	292	17 520	0,593	1,0	0,377	0,6
65	271	17 615	0,289	0,4	0,055	0,1
70	253	17 710	-0,066	-0,1	-0,316	-0,5
75	234	17 550	0,612	0,8	0,342	0,5
80	220	17 600	0,424	0,5	0,136	0,2
85	208	17 680	0,063	0,1	-0,240	-0,3
90	198	17 820	-0,640	-0,7	-0,960	-1,1
95	186	17 670	0,125	0,1	-0,215	-0,2
100	176	17 600	0,530	0,5	0,170	0,2
105	167	17 535	0,947	0,9	0,569	0,5
110	161	17 710	-0,104	-0,1	-0,497	-0,5
115	154	17 710	-0,109	-0,1	-0,519	-0,5
120	147	17 640	0,362	0,3	-0,068	-0,1
125	141	17 625	0,484	0,4	0,035	0,0
130	136	17 680	0,097	0,1	-0,368	-0,3
135	132	17 820	-0,961	-0,7	-1,439	-1,1
140	127	17 780	-0,683	-0,5	-1,181	-0,8
145	123	17 835	-1,153	-0,8	-1,667	-1,1
150	119	17 850	-1,318	-0,9	-1,849	-1,2
155	114	17 670	0,204	0,1	-0,351	-0,2
160	111	17 760	-0,602	-0,4	-1,171	-0,7
165	108	17 820	-1,174	-0,7	-1,759	-1,1
170	104	17 680	0,127	0,1	-0,481	-0,3
175	102	17 850	-1,537	-0,9	-2,157	-1,2
180	99	17 820	-1,281	-0,7	-1,919	-1,1
185	96	17 760	-0,696	-0,4	-1,354	-0,7
190	93	17 670	0,249	0,1	-0,430	-0,2
195	91	17 745	-0,569	-0,3	-1,264	-0,6
200	88	17 600	1,059	0,5	0,341	0,2



По данным стб. 12 табл. 1 и стб. 5 и 7 табл. 2 построены графики зависимости относительной ошибки определения расстояния  $d$  для рассмотренных трех случаев определения коэффициента  $A$  (рис. 4). Эти графики оказались практически конгруэнтными.

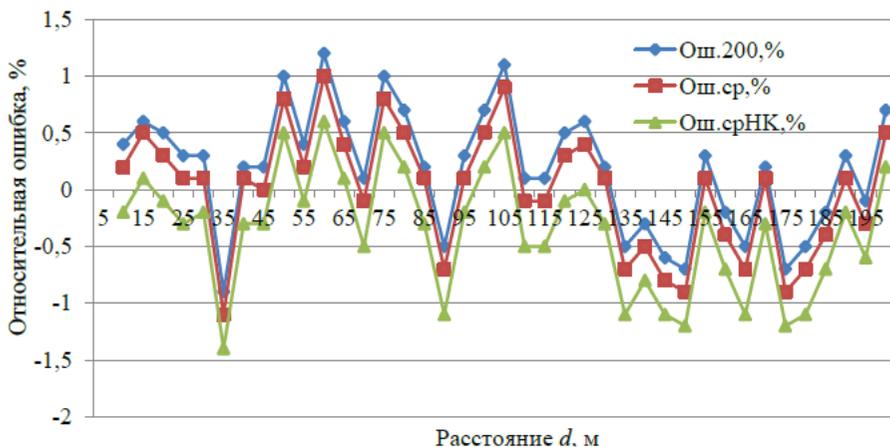


Рис. 4. Графики зависимости относительных ошибок определения расстояния  $d$  от коэффициентов  $A_{200}$ ,  $A_{ср}$ ,  $A_{срНК}$

На основании этих графиков можно констатировать, что рассмотренные три способа определения коэффициента  $A$  дают практически одинаковую точность определения расстояния  $d$  в основном в пределах  $-1 + 1\%$ . Поэтому на практике можно применить сокращенный способ калибровки путем тщательного определения  $A_{н}$  и  $A_{к}$  и взятия их среднего  $A_{срНК}$ .

С целью определения возможности распространения действия коэффициента  $A$  за пределы конечной точки К линии калибровки, были выполнены соответствующие исследования. Для этого в качестве линий калибровки были взяты отрезки 10–50, 10–100, 10–150 м. Для этих линий были подсчитаны коэффициенты  $A_{50}$ ,  $A_{100}$ ,  $A_{150}$  и найдены  $d_{выч}$ ,  $d_{выч}-d$  и относительные ошибки. Результаты вычислений представлены в табл. 3.

Таблица 3

**Результаты оценки точности при значениях коэффициентов  $A_{50}$ ,  $A_{100}$ ,  $A_{150}$**

$d, м$	$\Delta, пкс$	Коэффициент $A$					
		$A_{50} = 17\ 668$		$A_{100} = 17\ 653$		$A_{150} = 17\ 707$	
		$d_{выч} - d, м$	Ошибка, %	$d_{выч} - d, м$	Ошибка, %	$d_{выч} - d, м$	Ошибка, %
1	2	3	4	5	6	7	8
10	1766	0,004	0,0	-0,004	0,0	0,026	0,3
15	1174	0,049	0,3	0,036	0,2	0,082	0,5
20	882	0,031	0,2	0,015	0,1	0,075	0,4
25	707	-0,011	0,0	-0,031	-0,1	0,044	0,2
30	589	-0,004	0,0	-0,029	-0,1	0,061	0,2
35	511	-0,426	-1,2	-0,454	-1,3	-0,350	-1,0
40	442	-0,028	-0,1	-0,061	-0,2	0,059	0,1



Окончание табл.3

d, м	Δ, пкс	Коэффициент A					
		A <sub>50</sub> = 17 668		A <sub>100</sub> = 17 653		A <sub>150</sub> = 17 707	
		d <sub>выч</sub> - d, м	Ошибка, %	d <sub>выч</sub> - d, м	Ошибка, %	d <sub>выч</sub> - d, м	Ошибка, %
1	2	3	4	5	6	7	8
45	393	-0,045	-0,1	-0,082	-0,2	0,053	0,1
50	351	0,335	0,7	0,293	0,6	0,444	0,9
55	321	0,039	0,1	-0,007	0,0	0,159	0,3
60	292	0,505	0,8	0,455	0,8	0,637	1,1
65	271	0,194	0,3	0,140	0,2	0,336	0,5
70	253	-0,168	-0,2	-0,226	-0,3	-0,016	0,0
75	234	0,502	0,7	0,440	0,6	0,667	0,9
80	220	0,307	0,4	0,240	0,3	0,482	0,6
85	208	-0,060	-0,1	-0,131	-0,2	0,125	0,1
90	198	-0,770	-0,9	-0,844	-0,9	-0,576	-0,6
95	186	-0,013	0,0	-0,092	-0,1	0,194	0,2
100	176	0,384	0,4	0,300	0,3	0,602	0,6
105	167	0,793	0,8	0,706	0,7	1,024	1,0
110	161	-0,264	-0,2	-0,355	-0,3	-0,025	0,0
115	154	-0,276	-0,2	-0,371	-0,3	-0,026	0,0
120	147	0,187	0,2	0,087	0,1	0,449	0,4
125	141	0,301	0,2	0,198	0,2	0,574	0,5
130	136	-0,092	-0,1	-0,200	-0,2	0,191	0,1
135	132	-1,155	-0,9	-1,266	-0,9	-0,864	-0,6
140	127	-0,886	-0,6	-1,001	-0,7	-0,583	-0,4
145	123	-1,362	-0,9	-1,481	-1,0	-1,049	-0,7
150	119	-1,534	-1,0	-1,657	-1,1	-1,210	-0,8
155	114	-0,022	0,0	-0,150	-0,1	0,316	0,2
160	111	-0,833	-0,5	-0,965	-0,6	-0,486	-0,3
165	108	-1,412	-0,9	-1,548	-0,9	-1,056	-0,6
170	104	-0,120	-0,1	-0,261	-0,2	0,250	0,1
175	102	-1,789	-1,0	-1,933	-1,1	-1,412	-0,8
180	99	-1,540	-0,9	-1,688	-0,9	-1,152	-0,6
185	96	-0,964	-0,5	-1,116	-0,6	-0,563	-0,3
190	93	-0,027	0,0	-0,184	-0,1	0,387	0,2
195	91	-0,852	-0,4	-1,013	-0,5	-0,429	-0,2
200	88	0,767	0,4	0,601	0,3	1,205	0,6

В заключение отметим, что, во-первых, аналитическая зависимость измеряемых расстояний от количества пикселей, приходящихся на изображенный на снимках горизонтальный базис известной длины справедлива и для вертикального базиса. Во-вторых, установлено, что полный и сокращенные способы калибровки фотокамеры дают практически одинаковые по точности результаты. И, в-третьих,



доказана возможность использования результатов калибровки неметрической фотокамеры для фотографического способа измерения расстояний, превышающих длину линии, на которой выполнена калибровка.

#### БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Барсуков, К. Г. Исследование возможностей неметрических цифровых фотоаппаратов при решении инженерно-строительных задач / К. Г. Барсуков. – Текст : непосредственный // Научный вестник Воронежского государственного архитектурно-строительного университета. – 2007. – № 3. – С. 82–85.
2. Гельман, Р. Н. Лабораторная калибровка камер с большой дисторсией / Р. Н. Гельман, А. Л. Дунц. – Текст : непосредственный // Геодезия и картография. – 2002. – № 7. – С. 23–31.
3. Джарроуш, Д. Бытовая цифровая камера как инструмент для точных геодезических измерений / Д. Джарроуш. – Текст : непосредственный // Геопрофи. – 2014. – № 4. – С. 46–49.
4. Кацарский, И. С. О цифровой фотограмметрии и перспективах ее применения / И. С. Кацарский. – Текст : непосредственный // Геопрофи. – 2006. – № 6. – С. 4–8.
5. Могильный, С. Г. Конструктивная калибровка цифровой камеры / С. Г. Могильный, А. А. Шоломицкий, А. А. Лунев. – Текст : непосредственный // Известия вузов. Серия «Геодезия и аэрофотосъемка». – 2011. – № 2. – С. 62–66.
6. Никишин, Д. А. Методы и результаты калибровки малоформатных цифровых камер с трансфокатором / Д. А. Никишин. – Текст : непосредственный // Известия вузов. Серия «Геодезия и аэрофотосъемка». – 2003. – № 4. – С. 100–107.
7. Уставич, Г. А. О применении неметрических цифровых камер для инженерно-геодезических измерений / Г. А. Уставич, Я. Г. Пошивайло. – Текст : непосредственный // Геодезия и картография. – 2005. – № 8. – С. 19–24.
8. Шеховцов, Г. А. Контроль пространственного положения и формы строительных конструкций с помощью неметрических цифровых камер : монография / Г. А. Шеховцов, О. В. Раскаткина. – Нижний Новгород : ННГАСУ, 2017. – 118 с. – ISBN 978-5-528-00232-3. – Текст : непосредственный.
9. Шеховцов, Г. А. О методике и результатах калибровки фотокамер с целью измерения расстояний / Г. А. Шеховцов, Р. П. Шеховцова, Ю. Н. Раскаткин. – Текст : непосредственный // Геодезия и картография, – 2016. – № 2. – С. 46–53.
10. Bernasik, Jerzy. Automatyzacja fotogrametrycznych pomiarów odkształceń dachowych dźwigarów hal przemysłowych / Jerzy Bernasik, Sławomir Mikrut // Geodezja. – 2006. – Volume 12, № 2. – С. 113, 141–149.

**SHEKHOVTSOV Gennady Anatolevitch**, doctor of technical sciences, professor of the chair of geoinformatics, geodesy and cadastre; **RASKATKIN Yury Nikolaevich**, candidate of technical sciences, associate professor of the chair of building technology

#### CAMERA CALIBRATION OPTIONS FOR DISTANCE MEASUREMENT

Nizhny Novgorod State University of Architecture and Civil Engineering  
65, Pjinskaya St., Nizhny Novgorod, 603950, Russia. Tel.: +7 (831) 434-05-26;  
e-mail: kochetova@nngasu.ru

*Key words:* basis, calibration, coefficient, error, pixel, image, camera.



*The article describes the technique of using analytical relationship between the measured distance and numerical characteristics in pixels. These characteristics are the coefficient  $A$  and the number of pixels corresponding to this distance. They are obtained by calibrating the camera, followed by the computer processing of the pictures taken. The results of this calibration performed by taking pictures of a vertical 3-meter base in every 5 m in the range of 5–200 m of a horizontal line are presented. Three methods of determining the coefficient  $A$  are shown, providing almost the same accuracy in determining the distance. It was established that for each camera, the value  $A$  and the ratio of the difference in pixel size at the end and beginning of the calibration line to its length are constant. It is proved that the limits of the photographic method of measuring distances are not limited by the length of the calibration line, but can be much larger, ensuring the accuracy of measurements within 0–1 %.*

## REFERENCES

1. Barsukov K. G. Issledovanie vozmozhnostey nemetricheskikh tsifrovyykh fotoapparatov pri reshenii inzhenerno-stroitelnykh zadach [Investigation of the possibilities of non-metric digital cameras in solving engineering and construction tasks]. Nauch. vestnik Voronezh. gos. arkhitektur.-stroit. un-ta [Scientific Herald of the Voronezh State University of Architecture and Civil Engineering]. – 2007. – № 3. – P. 82–85.
2. Gelman R. N., Dunts A. L. Laboratornaya kalibrovka kamer s bolshoy distorsiyey [Laboratory calibration of cameras with large distortion] // Geodeziya i kartografiya [Geodezy and cartography]. 2002. № 7. P. 23–31.
3. Jarroush D. Bytovaya tsifrovaya kamera kak instrument dlya tochnyykh geodezicheskikh izmereniy [Household digital camera as a tool for accurate geodetic measurements] // Geoprofi. – 2014. – № 4. – P. 46–49.
4. Katsarsky I. S. O tsifrovoy fotogrammetrii i perspektivakh eyo primeneniya [About digital photogrammetry and the prospects of its application] // Geoprofi. – 2006. – № 6. – P. 4–8.
5. Mogilny S. G., Sholomitsky A. A., Lunev A. F. Konstruktivnaya kalibrovka tsifrovoy kamery [Digital Camera Calibration] // Izvestiya vuzov. Seriya “Geodeziya i aerofotosyomka” [News of higher educational institutions. Geodesy and aerial photography]. – 2011. № 2. P. 62–66.
6. Nikishin D. A. Metody i rezultaty kalibrovki maloformatnykh tsifrovyykh kamer s transfokatorom [Calibration methods and results for small format digital cameras with zoom] // Izvestiya vuzov. Seriya “Geodeziya i aerofotosyomka” [News of higher educational institutions. Geodesy and aerial photography]. – 2003. № 4. P. 100–107.
7. Ustavich G. A., Poshivaylo Ya. G. O primeneniі nemetricheskikh tsifrovyykh kamer dlya inzhenerno-geodezicheskikh izmereniy [On the use of non-metric digital cameras for engineering-geodetic measurements] // Geodeziya i kartografiya [Geodezy and cartography]. – 2005. – № 8. – P. 19–24.
8. Shekhovtsov G. A., Raskatkina O. V. Kontrol prostranstvennogo polozheniya i formy stroitelnykh konstruktsey s pomoschyu nemetricheskikh tsifrovyykh kamer [Control of the spatial position and shape of building structures using non-metric digital cameras]: monografiya / Nizhegor. gos. arkhitektur.-stroit. un-t. – Nizhny Novgorod: NNGASU, 2017. – 118 p. – ISBN 978-5-528-00232-3.
9. Shekhovtsov G. A., Shekhovtsova R. P., Raskatkin Yu. N. O metodike i rezultatakh kalibrovki fotokamer s tselyu izmereniya rasstoyaniy [About method and results of calibration of photocamers to measure distances] // Geodeziya i kartografiya [Geodezy and cartography]. – 2016. – № 2. – P. 46–53.
10. Bernasik Jerzy, Mikrut Sławomir Automatyizacja fotogrametrycznych pomiarów odkształceń dachowych dźwigarów hal przemysłowych // Geodezja. – 2006. – Vol.12, № 2. – P. 113, 141–149.

© **Г. А. Шеховцов, Ю. Н. Раскаткин, 2022**

Получено: 27.12.2021 г.