

Н. И. ПИНЕГИН, Н. Г. БОЛДЫРЕВ и О. Д. БАРТЕНЕВА

РАСЧЕТ ДАЛЬНОСТИ ВИДИМОСТИ

(Представлено академиком К. Н. Быковым 25 III 1952)

В основу расчета дальности видимости должна быть положена закономерность изменения остроты различения в зависимости от контраста наблюдаемых объектов с окружающим их фоном. Для случая световой адаптации глаза упомянутая закономерность впервые была выведена А. А. Смирновым ⁽¹⁾ в результате определения порогов различения светлоты в зависимости от величины объектов. Смирнов получил зависимость:

$$K' = e^{\frac{a}{\gamma} + b}, \quad (1)$$

где K' — величина порога, γ — угловые размеры диаметра объекта, a и b — константы. Угловые размеры объектов изменялись в пределах от 1,6 до 33,3'. Опыты производились на 3 наблюдателях.

Особенность опытов Смирнова состояла в том, что наблюдаемые объекты были светлее фона, т. е. их контрасты были отрицательными. Однако в условиях определения метеорологической дальности видимости приходится иметь дело, как правило, с объектами темнее фона, т. е. с положительными контрастами. Какова закономерность работы глаза в этом случае, могут дать ответ лишь специальные исследования.

Результаты таких исследований приведены в работе Н. И. Пинегина и К. Н. Булановой ⁽²⁾, где сопоставлена острота различения в зависимости от контраста для объектов:

1) разрыв в кольце Ландольта, шкала контрастов 0,035 — 1, вероятность различения 0,6, яркость фона 0,5 сб, неограниченное поле зрения, монокулярное зрение, данные для одного наблюдателя;

2) квадрат при условии определения появления бесформенного объекта на пороге различения, шкала контрастов 0,01 — 1, яркость фона 0,05 сб, неограниченное поле зрения, монокулярное зрение, данные для 3 наблюдателей;

3) квадрат при условии определения появления его формы на пороге различения, прочие условия те же, что и в предыдущем случае;

4) фигура Т при условии определения появления ее формы на пороге различения, шкала контрастов 0,015 — 1, яркость фона 0,3 сб, неограниченное поле зрения, бинокулярное зрение, данные для 10 наблюдателей.

Угловые размеры объектов в зависимости от контраста на пороге различения изменялись в первом случае в пределах 1,733—0,317'; во втором случае в пределах 4,700—0,333'; в третьем случае в пределах 19,884—1,333'; в четвертом случае в пределах 12,633—1,867'.

Результаты работы (2) представлены нами в новом виде на рис. 1, где по оси ординат отложены относительные значения остроты различения $1/\gamma$, т. е. величины, обратной угловым размерам объекта γ на пороге различения, а по оси абсцисс — относительные значения логарифма контраста объектов $\lg \frac{K'}{\varepsilon}$, где ε — пороговый контраст при $1/\gamma = 0$.

Из рис. 1 следует, что для весьма различных по форме объектов темнее фона и для разных условий их различения имеет место линейная зависимость между остротой различения и логарифмами контрастов при изменении самих контрастов в пределах от 0 до 1.

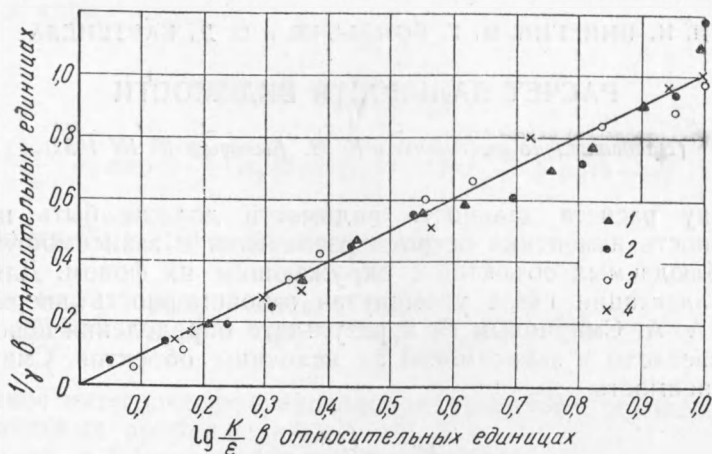


Рис. 1. Острота различения в зависимости от логарифма контраста для объектов: 1 — разрыв в кольце Ландольта при вероятности различения 0,6; 2 — квадрат при условии определения появления бесформенного объекта на пороге различения; 3 — квадрат при условии определения появления его формы на пороге различения; 4 — фигура Т при условии определения появления ее формы на пороге различения

Таким образом, формула Смирнова (1) справедлива и в этом случае и, следовательно, выражает линейную зависимость остроты различения от логарифма контраста любого знака. Вследствие этого, как было замечено Н. И. Пинегиним, она может быть положена в основу расчета дальности видимости.

Особенно простые соотношения получаются для дальности видимости объектов, наблюдаемых на фоне неба у горизонта. Воспользовавшись зависимостью (1) и элементарными формулами теории дальности видимости (3, 4), легко получаем уравнение, выведенное Н. Г. Болдыревым:

$$L = S \frac{\frac{1}{3} \ln \frac{K}{\varepsilon}}{1 + \frac{\delta}{3,438} \frac{S}{\sqrt{Q}} \frac{1}{3} \ln \frac{1}{\varepsilon}}, \quad (2)$$

связывающее дальность видимости объекта L с метеорологической дальностью видимости S , контрастом объекта с фоном неба K , площадью объекта Q , порогом контрастной чувствительности глаза наблюдателя ε и наименьшим разрешаемым углом δ . Площадь объекта Q должна быть выражена в квадратных метрах, метеорологическая дальность видимости S и реальная дальность видимости L в километрах, наименьший разрешаемый угол δ в минутах, порог контрастной чув-

ствительности глаза в долях единицы (не в процентах). Для случая определения метеорологической дальности видимости порог контрастной чувствительности ϵ , по новейшим данным ⁽⁴⁾, положен равным 0,05.

Если наблюдение производится через оптический прибор, например через измеритель видимости (дымкомер), то вместо K нужно брать, по данным ^(3,5), произведение MK , где M — коэффициент ослабления контрастов в приборе. В этом случае под δ нужно понимать наименьший угол, разрешаемый системой «глаз плюс прибор».

Сравнение формулы (2) с опытом было произведено О. Д. Бартеновой, наблюдавшей различные объекты через дымкомер системы В. А. Гаврилова ⁽⁶⁾. Коэффициенты M , соответствующие моменту потери видимости объекта, определялись на опыте. Эти же коэффициенты были вычислены по формуле (2) и по номограмме ⁽⁴⁾, построенной в предположении другой зависимости между воспринимаемым контрастом и угловым размером объекта ^(3,5).

Результаты сравнения теории с опытом приведены в табл. 1.

В табл. 2 даны результаты других опытов О. Д. Бартеновой, наблюдавшей момент обнаружения различных объектов при приближении к ним. В табл. 2 сравнивается фактически наблюдавшаяся дальность видимости L с вычисленной по формуле (2) и по номограмме ⁽⁴⁾.

Таблица 1

Сравнение теории с опытом (при $\delta = 0,192$)

Объект	L	S	Q	K	ϵ	Условия освещения *	M		
							измерено	рассч. по номограмме	рассч. по формуле
Каменное серое здание	17,5	112	3345	0,62	0,020	☉	0,066	0,064	0,055
Белая башня	17,6	81	2018	0,90	0,021	☉	0,061	0,063	0,049
Белая башня	17,6	43	2018	0,85	0,030	п	0,166	0,187	0,131
Триангуляционная вышка	24,0	95	144	0,50	0,019	☉	0,169	0,159	0,126
Серый бревенчатый дом	4,9	20	81	0,75	0,024	☉	0,079	0,094	0,075
Триангуляционная вышка	24,0	122	144	0,50	0,023	☉	0,163	0,165	0,126
Хвойное дерево	2,1	8	77	0,80	0,022	п	0,091	0,085	0,064
Серый бревенчатый дом	4,9	10	81	0,75	0,019	п	0,180	0,192	0,124
Хвойное дерево	2,1	6	77	0,80	0,022	п	0,146	0,124	0,084
Серый бревенчатый дом	4,9	20	81	0,75	0,022	п	0,076	0,083	0,069
Серый каменный дом	9,0	33	117	0,75	0,022	п	0,118	0,151	0,080
Серый бревенчатый дом	4,9	9	81	0,75	0,023	п	0,212	0,306	0,177
Темное старое здание .	22,6	53	1945	0,80	0,023	☉	0,156	0,172	0,115
Шпиль здания	21,9	81	487	0,60	0,021	☉	0,106	0,129	0,097
Серое каменное здание	17,5	115	3345	0,62	0,019	☉	0,047	0,058	0,052

* ☉ — освещено солнцем, п — пасмурно.

Таблица 2

Сравнение теории с опытом (при $\delta = 0,67$)

Объект	S	Q	K	ϵ	Дальность видимости L		
					набл.	рассч. по номограмме	рассч. по формуле
Круглая красная башня с белым основанием . . .	144	300	0,60	0,05	39	40	46
Металлическая ажурная башня	144	300	0,50	0,05	37	37	42
Белая башня	144	300	0,70	0,05	37	43	49
Круглая красная башня (против света)	144	154	1,00	0,05	37	39	44

Как видно из табл. 1 и 2, формула (2) дает несколько завышенные дальности видимости. Номограмма (4) дает несколько более точные данные. Однако расхождение формулы (2) с опытом незначительно, что позволяет пользоваться этой весьма простой формулой на практике.

Поступило
9 I 1952

ЦИТИРОВАННАЯ ЛИТЕРАТУРА

¹ А. А. Смирнов, Сб. Зрительные ощущения и восприятия, 1935, стр. 120.
² Н. И. Пинегин и К. Н. Буланова, Проблемы физиол. оптики, 4, 126 (1947).
³ Н. Г. Болдырев, Тр. Главн. геофиз. obs., 19 (81) (1950). ⁴ Н. Г. Болдырев и О. Д. Бартенева, Руководство по определению дальности видимости реальных объектов в светлое время суток, 1950. ⁵ Н. Г. Болдырев, Изв. АН СССР, ОТН, № 12 (1951). ⁶ В. А. Гаврилов, Тр. Главн. геофиз. obs., 19 (81) (1950).
⁷ Н. Г. Болдырев, Проблемы физиол. оптики, 6, 130 (1948).

Видимость, км	Средняя дальность, км	Средняя дальность, км	Средняя дальность, км	Средняя дальность, км	Средняя дальность, км	Средняя дальность, км	Средняя дальность, км	Средняя дальность, км	Средняя дальность, км
0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1
0,2	0,2	0,2	0,2	0,2	0,2	0,2	0,2	0,2	0,2
0,3	0,3	0,3	0,3	0,3	0,3	0,3	0,3	0,3	0,3
0,4	0,4	0,4	0,4	0,4	0,4	0,4	0,4	0,4	0,4
0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5
0,6	0,6	0,6	0,6	0,6	0,6	0,6	0,6	0,6	0,6
0,7	0,7	0,7	0,7	0,7	0,7	0,7	0,7	0,7	0,7
0,8	0,8	0,8	0,8	0,8	0,8	0,8	0,8	0,8	0,8
0,9	0,9	0,9	0,9	0,9	0,9	0,9	0,9	0,9	0,9
1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0
1,2	1,2	1,2	1,2	1,2	1,2	1,2	1,2	1,2	1,2
1,4	1,4	1,4	1,4	1,4	1,4	1,4	1,4	1,4	1,4
1,6	1,6	1,6	1,6	1,6	1,6	1,6	1,6	1,6	1,6
1,8	1,8	1,8	1,8	1,8	1,8	1,8	1,8	1,8	1,8
2,0	2,0	2,0	2,0	2,0	2,0	2,0	2,0	2,0	2,0
2,2	2,2	2,2	2,2	2,2	2,2	2,2	2,2	2,2	2,2
2,4	2,4	2,4	2,4	2,4	2,4	2,4	2,4	2,4	2,4
2,6	2,6	2,6	2,6	2,6	2,6	2,6	2,6	2,6	2,6
2,8	2,8	2,8	2,8	2,8	2,8	2,8	2,8	2,8	2,8
3,0	3,0	3,0	3,0	3,0	3,0	3,0	3,0	3,0	3,0
3,2	3,2	3,2	3,2	3,2	3,2	3,2	3,2	3,2	3,2
3,4	3,4	3,4	3,4	3,4	3,4	3,4	3,4	3,4	3,4
3,6	3,6	3,6	3,6	3,6	3,6	3,6	3,6	3,6	3,6
3,8	3,8	3,8	3,8	3,8	3,8	3,8	3,8	3,8	3,8
4,0	4,0	4,0	4,0	4,0	4,0	4,0	4,0	4,0	4,0
4,2	4,2	4,2	4,2	4,2	4,2	4,2	4,2	4,2	4,2
4,4	4,4	4,4	4,4	4,4	4,4	4,4	4,4	4,4	4,4
4,6	4,6	4,6	4,6	4,6	4,6	4,6	4,6	4,6	4,6
4,8	4,8	4,8	4,8	4,8	4,8	4,8	4,8	4,8	4,8
5,0	5,0	5,0	5,0	5,0	5,0	5,0	5,0	5,0	5,0
5,2	5,2	5,2	5,2	5,2	5,2	5,2	5,2	5,2	5,2
5,4	5,4	5,4	5,4	5,4	5,4	5,4	5,4	5,4	5,4
5,6	5,6	5,6	5,6	5,6	5,6	5,6	5,6	5,6	5,6
5,8	5,8	5,8	5,8	5,8	5,8	5,8	5,8	5,8	5,8
6,0	6,0	6,0	6,0	6,0	6,0	6,0	6,0	6,0	6,0
6,2	6,2	6,2	6,2	6,2	6,2	6,2	6,2	6,2	6,2
6,4	6,4	6,4	6,4	6,4	6,4	6,4	6,4	6,4	6,4
6,6	6,6	6,6	6,6	6,6	6,6	6,6	6,6	6,6	6,6
6,8	6,8	6,8	6,8	6,8	6,8	6,8	6,8	6,8	6,8
7,0	7,0	7,0	7,0	7,0	7,0	7,0	7,0	7,0	7,0
7,2	7,2	7,2	7,2	7,2	7,2	7,2	7,2	7,2	7,2
7,4	7,4	7,4	7,4	7,4	7,4	7,4	7,4	7,4	7,4
7,6	7,6	7,6	7,6	7,6	7,6	7,6	7,6	7,6	7,6
7,8	7,8	7,8	7,8	7,8	7,8	7,8	7,8	7,8	7,8
8,0	8,0	8,0	8,0	8,0	8,0	8,0	8,0	8,0	8,0
8,2	8,2	8,2	8,2	8,2	8,2	8,2	8,2	8,2	8,2
8,4	8,4	8,4	8,4	8,4	8,4	8,4	8,4	8,4	8,4
8,6	8,6	8,6	8,6	8,6	8,6	8,6	8,6	8,6	8,6
8,8	8,8	8,8	8,8	8,8	8,8	8,8	8,8	8,8	8,8
9,0	9,0	9,0	9,0	9,0	9,0	9,0	9,0	9,0	9,0
9,2	9,2	9,2	9,2	9,2	9,2	9,2	9,2	9,2	9,2
9,4	9,4	9,4	9,4	9,4	9,4	9,4	9,4	9,4	9,4
9,6	9,6	9,6	9,6	9,6	9,6	9,6	9,6	9,6	9,6
9,8	9,8	9,8	9,8	9,8	9,8	9,8	9,8	9,8	9,8
10,0	10,0	10,0	10,0	10,0	10,0	10,0	10,0	10,0	10,0