



Определение предельной видимости железнодорожных светофоров



Румен ДИМИТРОВ

Rumen DIMITROV

Determination of Maximum Visibility of Railway Traffic Lights

(текст статьи на англ. яз. – English text of the article – p. 194)

Автор исследует особенности действующей на болгарских железных дорогах системы световой сигнализации, призванной регулировать движение поездов и обеспечивать безопасность людей, грузов и транспортных средств на железнодорожных переездах. На основе эвристического подхода определяется максимальная (предельная) дальность видимости сигнальных огней светофоров, проводится сравнительный анализ данных, полученных в разных погодных условиях (включая снежные заносы), разное время суток (день, ночь), при разном пороге световой чувствительности человеческого глаза в зависимости от силы источника света (в частности, специфики мачтовых и карликовых светофоров).

Ключевые слова: железная дорога, световая сигнализация, безопасность, светофоры, видимость, пределы дальности, эвристика, сравнительный анализ.

Димитров Румен – старший научный сотрудник, кандидат технических наук, эксперт по эксплуатационной совместимости подсистемы «Контроль управления и сигнализации», ООО «ТИНСА», София, Болгария.

Согласно действующей на железных дорогах Болгарии нормативной базы [1], при скорости движения поездов до 160 км/ч сигнальные показания входных, выходных, проходных, заградительных и переездных светофоров должны иметь дальность видимости не менее 200 метров, а предупредительных и перед переездами – не менее 150 метров.

На линиях со скоростью движения от 160 до 250 км/ч сигнальные показания входных, выходных, проходных и предупредительных светофоров предполагают дальность видимости не менее 400 м¹, а для заградительных и светофоров перед переездами видимость не регламентируется, из чего следует, что на таких участках не предвидятся пересечения железных и шоссейных дорог на одном уровне (переезды).

Маневровые светофоры обязаны иметь дальность видимости не менее 200 метров.

¹ По мнению автора, это требование является спорным, ибо на этих скоростях движение поездов должно происходить по «электрической видимости», что означает автоматическую передачу в кабину машиниста с целесообразно безопасного расстояния информации о показаниях железнодорожных светофоров. Поскольку требование является нормативным, далее оно, тем не менее, принимается как данность.

Таблица 1

Цвет излучаемого света	Сила света по оптической оси, cd	
	Для мачтовых светофоров	Для карликовых светофоров
Красный	1100	750
Жёлтый	2100	1600
Зелёный	1500	1000
Синий	100	70
Лунно-белый (далее белый)	2000	1400

Таблица 2

Цвет света	Порог световой чувствительности $E_{пр}$, lx		Цвет света	Порог световой чувствительности $E_{пр}$, lx	
	Днём	Ночью		Днём	Ночью
Красный	$0,6 \cdot 10^{-3}$	$0,8 \cdot 10^{-6}$	Жёлтый	$1,2 \cdot 10^{-3}$	$2,0 \cdot 10^{-6}$
Зелёный	$0,9 \cdot 10^{-3}$	$1,2 \cdot 10^{-6}$	Белый	$2,0 \cdot 10^{-3}$	$3,0 \cdot 10^{-6}$
Синий	$0,8 \cdot 10^{-3}$	$1,0 \cdot 10^{-6}$	—	—	—

В связи с вводом в Болгарии при так называемой «скоростной сигнализации» второй промежуточной скорости (100 км/ч) к известным круглым светофорным головкам была добавлена прямоугольная зелёная полоса.

С целью обеспечения дальности видимости светофорных показаний для огней разного цвета в [2] регламентирована минимальная сила света светофорных головок по оптической оси (таблица 1).

Предметом рассмотрения в статье стало определение максимальной (предельной) дальности видимости сигнальных огней железнодорожных светофоров, включая зелёную полосу, с использованием известных [3] и не очень известных предпосылок, а также некоторых авторских идей.

1. ДАЛЬНОСТЬ ВИДИМОСТИ КРУГЛЫХ СВЕТОФОРНЫХ ГОЛОВОК

1.1. Теоретические предпосылки

Известно, что если наблюдение объекта, излучающего свет, проводится визуально, то в зрачке глаза наблюдателя отражается свет этого объекта. При увеличении расстояния до него уровень отражения снижается. На определённом расстоянии он достигнет такого значения, при котором глаз перестанет ощущать свет. Эта минимальная освещённость называется «порогом световой чувствительности» глаза на точечный источник света (пороговая освещённость зрачка глаза). Расстояние до светящегося объекта в момент исчезновения ощущения видимости называется «максимальной (предельной) дальностью видимости» объекта.

Для восприятия глазом светящейся точки (света от объекта) необходимо, чтобы освещённость, создаваемая ею в зрачке глаза, превышала порог световой чувствительности, соответствующей определённому цвету. Значения этой чувствительности днём и ночью при почти абсолютной прозрачности атмосферы и хорошей видимости даны в таблице 2 [3].

Как видно из таблицы 2, чувствительность глаза днём значительно уменьшается, причиной чего является светлый фон атмосферы, обусловленный солнечным светом.

Чтобы наблюдатель (в данном случае — машинист) мог днём надёжно воспринять сигнал на определённом расстоянии, в соответствии с законом Кеплера необходимо обеспечить силу света по оптической оси от объекта не ниже, чем:

$$I = E_{пр} \cdot L^2, \quad (1)$$

где $E_{пр}$ — порог световой чувствительности, lx;

L — расстояние до светящегося объекта (дальность видимости), m;

I — сила света по оптической оси к объекту, cd.

При этом расстояние до светящегося объекта точечного источника света, каким является светофорная головка, зависит только от силы света, но не от его яркости.

Из-за частичного поглощения атмосферой излучаемого объектом света приходится использовать светофорные головки со значительной силой света по оптической оси. Поэтому минимальная требуемая сила в реальных условиях, с учётом состояния



Класс видимости	Коэффициент прозрачности атмосферы, α	Максимальная дальность видимости (метеорологическая), км	Состояние атмосферы
1	—	0,2	Сильный туман
2	0,0004	0,5	Средний туман
3	0,02	1	Слабый туман
4	0,14	2	Очень сильная дымка
5	0,38	4	Сильная дымка
6	0,67	10	Слабая дымка
7	0,82	20	Удовлетворительная видимость
8	0,92	50	Хорошая видимость

атмосферы, находится по следующей эмпирической формуле (закон Алларда):

$$I = E_{\text{пр.}} \cdot L^2 \cdot \alpha^{-L} \cdot 10^6, \quad (2)$$

где α – коэффициент прозрачности слоя атмосферы на расстоянии 1 км,

L – расстояние до светящегося объекта (дальность видимости), км.

Для коэффициента прозрачности α атмосферы, в зависимости от её состояния, известны [3] значения, показанные в таблице 3.

1.2. Пределы дальности

Определение расстояния до светящегося объекта (дальности видимости) L с применением (2) при заданных I , $E_{\text{пр.}}$ и α становится сложной задачей, поскольку неизвестная величина L одновременно является и показателем степени. В связи с чем здесь предлагается решать обратную задачу, а именно – при заданных L , $E_{\text{пр.}}$ и α найти нужную для этих условий силу света по оптической оси объекта и после нескольких итераций сравнить полученные результаты для I с заданными минимальными значениями для конкретного типа светофорных головок. Дальностью видимости для ближайшего полученного значения I применительно к регламентированной силе света будет искомая дальность видимости.

С демонстрационной целью в 1.2.1 и 1.2.2 выполнена процедура по определе-

нию дальности видимости светофорных головок для состояния атмосферы «хорошая видимость», $\alpha = 0,92$ (класс видимости 8 из таблицы 3).

Конечные результаты применения той же процедуры для состояния атмосферы – «сильная дымка», $\alpha = 0,38$ (класс видимости 5); «средний туман», $\alpha = 0,0004$ (класс видимости 2) – даны в таблице 7.

1.2.1. Определение дальности видимости при состоянии атмосферы «хорошая видимость днём» и коэффициенте прозрачности $\alpha = 0,92$.

Для этого состояния получены следующие результаты для I (таблица 4). В окрашенных клетках указаны значения, которые больше минимальной регламентированной в [2] силы света. Максимальной дальностью видимости L для этой силы является значение, соответствующее I в клетке, расположенной слева от окрашенной, или среднее значение из двух соседних клеток (окрашенной и неокрашенной слева от неё).

Из результатов, указанных в таблице 4, и построенных на их основе графиков (рис. 1) становится ясно, что при заданных условиях максимальная (предельная) дальность видимости отдельных огней мачтовых светофоров будет:

– огонь красного цвета ≤ 1300 м;

Таблица 4

Цвет света	Порог световой чувствительности $E_{\text{пр.}}$, lx	L_i , km							
		0,3	0,4	0,6	0,8	1,0	1,2	1,3	1,4
	Днём	I, cd	I, cd	I, cd	I, cd	I, cd	I, cd	I, cd	I, cd
Красный	$0,6 \cdot 10^{-3}$	55	99	227	410	652	955	1130	1321
Зелёный	$0,9 \cdot 10^{-3}$	83	149	341	616	978	1432	1695	1982
Синий	$0,8 \cdot 10^{-3}$	74	132	303	547	870	1273	1507	1762
Жёлтый	$1,2 \cdot 10^{-3}$	111	199	454	821	1304	1910	2260	2643
Белый	$2 \cdot 10^{-3}$	185	331	757	1368	2174	3183	3767	4405

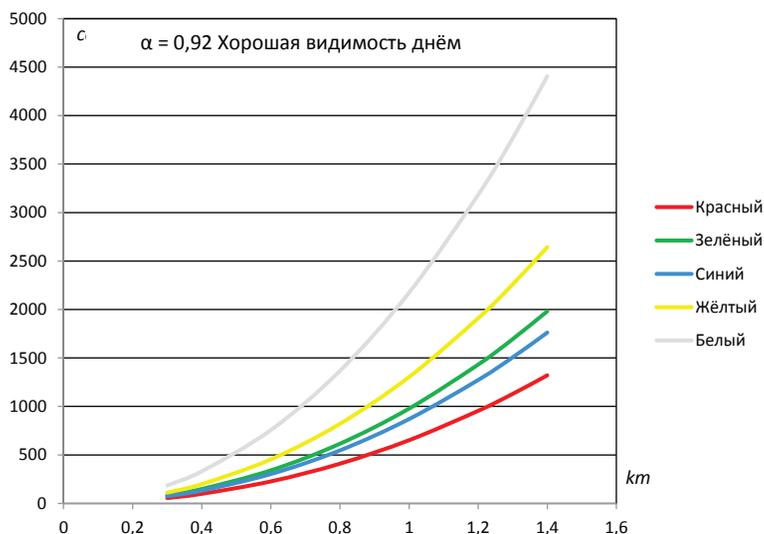


Рис. 1.

Таблица 5

Цвет света	Порог световой чувствительности E_{np}, lx	L_v, km							
		0,3	0,4	0,6	0,8	1,0	1,2	1,4	1,5
		Ночью							
Красный	$0,8 \cdot 10^{-6}$	0,074	0,132	0,303	0,547	0,870	1,273	1,762	2,040
Зелёный	$1,2 \cdot 10^{-6}$	0,111	0,199	0,454	0,821	1,304	1,910	2,643	3,060
Синий	$1,0 \cdot 10^{-6}$	0,092	0,165	0,378	0,684	1,087	3,183	2,203	2,550
Жёлтый	$2,0 \cdot 10^{-6}$	0,185	0,330	0,757	1,368	2,174	3,183	4,405	5,010
Белый	$3,0 \cdot 10^{-6}$	0,277	0,496	1,135	2,052	3,261	4,775	6,608	7,649

- огонь зелёного цвета ~ 1200 м;
- огонь синего цвета ~ 350 м;
- огонь жёлтого цвета ~ 1200 м;
- огонь белого цвета < 1000 м.

Однако при этом необходимо иметь в виду следующие допущения:

- мачтовые светофоры, на которых размещаются головки соответствующих огней, расположены на прямом участке пути длиной больше максимальной (предельной) дальности видимости;
- принимается, что наблюдатель (машинист) концентрирует своё внимание по оптической оси объекта (головке светофора), излучающего свет;
- не учитываются флуктуации порога световой чувствительности глаза, которые зависят от возраста, состояния здоровья и эмоционального состояния наблюдателя;
- не учитываются разбросы питающего напряжения светофорных огней, от которых зависят флуктуации I (в [2] такие разбросы не заданы).

Из указанных допущений должно быть понятно, что в действительности полученные значения дальности видимости могут оказаться более низкими, и поэтому результаты вычислений нужно рассматривать как максимально возможные (предельные) значения.

Для случая, когда наблюдатель (машинист) концентрирует своё внимание не по оптической оси головки светофора, излучающей свет, а под углом ϕ по отношению к ней, формулы (1) и (2) принимают вид (закон Ламберта):

$$I = E_{np} \cdot L^2 / \cos\phi, \quad (1')$$

$$I = E_{np} \cdot L^2 \cdot \alpha^{-L} \cdot 10^6 / \cos\phi. \quad (2')$$

С использованием ранее изложенной процедуры и на основании регламентированных в [2] значений I для карликовых светофоров закон Ламберта следует применить при определении дальности видимости соответствующих огней этих светофоров. Применение (1') и (2') обязательно и в случаях мачтовых светофоров, когда



Рис. 2.

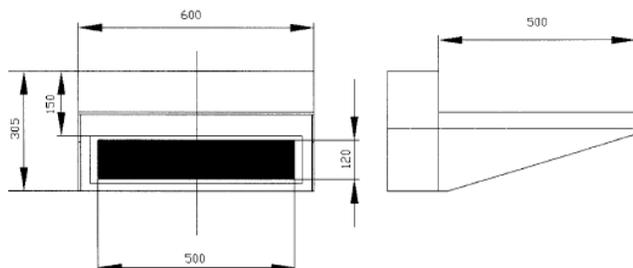
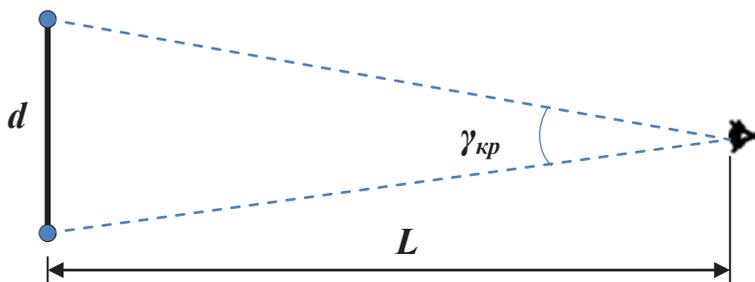


Рис. 3.



машинист осуществляет наблюдение за ними не по оптической оси головки, а под углом ϕ по отношению к ней.

1.2.2. Определение дальности видимости при состоянии атмосферы «хорошая видимость ночью» и коэффициенте прозрачности $\alpha = 0,92$ (таблица 5).

Анализируя данные таблицы 5, нельзя не отметить полученные исключительно низкие значения силы света по оптической оси I , обеспечивающие видимость на расстоянии более 1500 м. Это объясняется значительно более высокой (почти в 1000 раз) чувствительностью зрачка глаза ночью.

В этой связи к уже сделанным допущениям просится ещё одно:

- принимается, что тёмный фон окружающей среды ночью не нарушается другими световыми источниками, включая лунный свет (прежде всего при полнолунии).

2. ДАЛЬНОСТЬ ВИДИМОСТИ ПРЯМОУГОЛЬНОЙ ЗЕЛЁНОЙ ПОЛОСЫ

Требования к прямоугольной полосе зелёного цвета, как к размерам конструкции (рис. 2), даны в [2], но требования к силе света, излучаемого ею, там отсутствуют. Однако поскольку зелёная полоса представляет собой составной элемент мачтовых светофоров, то её максимальная дальность видимости, очевидно, должна соответствовать дальности видимости

остальных сигнальных показаний этих светофоров.

2.1. Теоретические предпосылки

Для определения максимальной (предельной) дальности видимости прямоугольной зелёной полосы автор предлагает использовать характеристику зрительного анализатора (глаза) наблюдателя, называемую «разделительной способностью».

Разделительная способность глаза человека оценивается критическим углом зрения ($\gamma_{кр}$). Это минимальный угол, при котором глаз всё ещё может отличить две отдельные граничные точки изображения (рис. 3). При уменьшении этого угла обе точки сливаются и воспринимаются как одна. При нормальном зрении $\gamma_{кр}$ равен одной угловой минуте.

Исходя из этой постановки, можно определить максимальную (предельную) дальность видимости несветящегося объекта, при которой границы его находятся на грани слияния.

2.2. Определение дальности видимости

В связи с рассматриваемой задачей представляет практический интерес определение дальности видимости двух конструкций прямоугольной зелёной полосы, а именно:

Вариант 1 – отдельная конструкция с излучающим полем размерами 120 мм по вертикали и 500 мм по горизонтали (рис. 2).

Вариант 2 – обособленная в конструкции круглой светофорной головки светя-

Таблица 6

Предельная дальность видимости (м), несветящиеся объекты				
Круглая светофорная головка	Прямоугольная зелёная полоса. Вариант 1		Прямоугольная зелёная полоса. Вариант 2	
	По диаметру	По вертикали	По горизонтали	По вертикали
687	412	1719	120	722

чаящаяся полоса размерами 35 мм по вертикали и 210 мм по горизонтали.

Дополнительно берётся круглая светофорная головка диаметром 200 мм, регламентированном в [2].

Результаты вычислений для предельной дальности видимости двух указанных излучателей, как несветящихся объектов, с точки зрения разделительной способности глаза демонстрирует таблица 6.

Из рис. 3 и таблицы 6 становится ясно, что при прямоугольном излучателе критической будет видимость по вертикали, т.к. обе горизонтальные граничные линии объекта будут совмещены в одну линию раньше, чем обе более удалённые вертикальные граничные линии. Поэтому в данном случае предельную дальность видимости по горизонтали не следует принимать во внимание.

При этом, кроме допущений из 1.2.1, здесь следует иметь в виду, что указанные в таблице значения должны восприниматься как предельные не только с точки зрения разделительной способности глаза, но и с учётом того, что эта способность относится к нормальному зрению наблюдателя при хорошей видимости атмосферы днём.

Полученные значения можно рассматривать как «пассивную дальность видимости», т.к. они относятся к несветящимся объектам.

Для определения предельной дальности видимости некруглых светящихся объектов днём автором предлагается следующий эвристический подход.

Сравним «пассивную дальность видимости» из таблицы 6 для круглой светофорной головки (687 м) с предельной дальностью видимости той же головки (таблица 4), но для излучаемого ею зелёного света в случае хорошей видимости днём (1200 м). Легко подсчитать, что дальность видимости этой головки, светящейся днём, при заданной силе света по оптической оси 1500 cd почти в 1,75 раза больше «пассивной дальности видимости». На этом основании, если использовать полученный

эвристический коэффициент (1,75) в отношении дальности видимости двух видов прямоугольной зелёной полосы, при условии, что они имеют одинаковую силу света как между собой, так и по отношению к круглой светофорной головке зелёного цвета (1500 cd), то с учётом указанного ограничения по вертикали получится дальность видимости прямоугольных полос при хорошей видимости днём:

- для варианта 1 – около 720 м;
- для варианта 2 – около 210 м.

Если сила света приблизительно 2000 cd, то с использованием таким же образом результатов таблицы 4 (для 1982 cd) получается коэффициент 2,038 и дальность видимости соответственно 840 м для полосы варианта 1 и 245 м для полосы варианта 2.

Эти теоретически полученные значения для дальности видимости двух вариантов прямоугольных зелёных полос отличаются менее чем на 5–6 % от известных автору результатов светотехнических испытаний, что свидетельствует об адекватности и перспективности предложенного подхода.

При состоянии атмосферы «средний туман днём» и силе света по оптической оси 1500 cd получается эвристический коэффициент 0,509, а при силе света приблизительно 2000 cd – 0,526. Дальность видимости обоих вариантов зелёных полос при этом состоянии атмосферы днём и указанных значениях силы света дана в таблице 7.

Совсем по-другому следует рассматривать вопрос о дальности видимости прямоугольных зелёных полос ночью. Поскольку полоса является светящимся объектом, то в данном случае должны учитываться следующие особенности зрения наблюдателя.

Ночью как форма, так и размеры источника света не могут быть определены, поскольку зрение воспринимает только свет от объекта, не видя его самого. «Пассивная видимость» тут отсутствует. Из-за этого объект, будь он круглым, эллиптическим, квадратным или прямоугольным, будет восприниматься наблюдателем как бесфор-



Свет (огонь) головки/полосы светофора:	Теоретически определённая предельная дальность видимости L, м при состоянии атмосферы:						
	Хорошая видимость, $\alpha = 0,92$		Сильная дымка, $\alpha = 0,38$		Средний туман, $\alpha = 0,0004$		
	Днём	Ночью	Днём	Ночью	Днём	Ночью	
Красный	< 1300	> 1500	< 900	> 1500	~ 350	~ 800	
Зелёный – круглая головка	~ 1200	> 1500	~ 850	> 1500	< 350	~ 800	
Прямоугольная полоса зелёного света, вариант 1	I = 1500 cd	720	> 1500	510	> 1500	210	~ 800
	I = 2000 cd	840	> 1500	570	> 1500	217	~ 800
Прямоугольная полоса зелёного света, вариант 2	I = 1500 cd	210	> 1500	148	> 1500	61	~ 800
	I = 2000 cd	245	> 1500	166	> 1500	63	~ 800
Синий	~ 350	> 1500	300	> 1500	~ 200	~ 600	
Жёлтый	~ 1200	> 1500	~ 850	> 1500	< 350	~ 800	
Белый	< 1000	> 1500	< 700	> 1500	< 325	~ 750	

менный лучистый источник. Нетрудно понять почему это так.

Картина источника света в сетчатке глаза состоит из множества отдельных точек, каждая из которых возникает как результат раздражения фоточувствительных клеток, названных из-за их формы палочками и колбочками.

Длина палочек около 0,06 мм, а колбочек – 0,035 мм. Но если изображение предмета на сетчатке глаза очень маленькое, оно занимает только две-три колбочки. Из-за этого появляется ощущение светлой точки, независимо от действительной формы источника света. Поэтому оценить угловые размеры светящегося точечного объекта ночью невозможно. По этой причине при одной и той же силе света по оптической оси оба варианта прямоугольной зелёной полосы будут ночью иметь приблизительно одинаковую дальность видимости с дальностью видимости круглой светофорной головки зелёного цвета (см. таблицу 7).

3. ОБОБЩЕНИЕ РЕЗУЛЬТАТОВ

Полученные теоретические результаты для максимальной (предельной) дальности видимости круглых светофорных головок, а также для прямоугольных полос в двух вариантах, каждый с силой света 1500 или 2000 cd, с учётом допущений из 1.2.1 и 1.2.2 обобщены в таблице 7 для состояния атмосферы «хорошая видимость», «сильная дымка» и «средний туман».

Автор считает, что для режима светофоров «ночь» достаточна сила света по оптической оси для светофорных головок/полос

как минимум в три раза ниже, чем сила света для режима «день». Расчёты показывают (таблица 7), что при состояниях атмосферы «хорошая видимость» и «сильная дымка» даже в три раза сниженная сила света ночью не оказывает влияния на дальность видимости, которая остаётся выше 1500 м, а при состоянии атмосферы «средний туман» дальность видимости ночью будет более чем в два раза больше дальности видимости днём, что является нормальным, если учитывать более высокую чувствительность зрительного анализатора наблюдателя ночью.

Из указанных в таблице 7 результатов следует, что:

- Для скоростей движения поездов до 160 км/ч и требуемой нормативной дальности видимости 200 м для показаний входных, выходных, проходных, заградительных и переездных светофоров, а также 150 м для показаний предупредительных и светофоров перед переездами:

- все огни круглых светофорных головок удовлетворяют нормативным требованиям дальности видимости днём и ночью в условиях хорошей видимости атмосферы, сильной дымки и среднего тумана;

- вариант 1 прямоугольной зелёной полосы удовлетворяет нормативным требованиям дальности видимости днём и ночью в условиях хорошей атмосферной видимости, сильной дымки и среднего тумана. Для условий среднего тумана днём полученные значения близки к нормативным;

- вариант 2 прямоугольной зелёной полосы удовлетворяет нормативным

требованиям дальности видимости ночью в условиях хорошей атмосферной видимости, сильной дымки и среднего тумана. Для условий хорошей видимости днём полученное значение дальности видимости этой полосы более приемлемо при $I = 2000$ cd, т.к. при $I = 1500$ cd оно ближе к нормативному. Вариант 2 прямоугольной зелёной полосы не удовлетворяет нормативным требованиям дальности видимости днём в условиях сильной дымки и среднего тумана для обоих значений I :

- Для скоростей движения поездов от 160 км/ч до 250 км/ч и требуемой нормативной дальности видимости 400 м для показаний входных, выходных, проходных и предупредительных светофоров:

- все показания круглых светофорных головок удовлетворяют нормативным требованиям для дальности видимости ночью в условиях хорошей атмосферной видимости, сильной дымки и среднего тумана, а для дальности видимости днём — только в условиях хорошей видимости и сильной дымки. Круглая светофорная головка синего света удовлетворяет нормативным требованиям дальности видимости днём и в условиях среднего тумана;

- вариант 1 прямоугольной зелёной полосы удовлетворяет нормативным требованиям дальности видимости ночью в условиях хорошей атмосферной видимости, сильной дымки и среднего тумана, а днём — только в условиях хорошей видимости и сильной дымки;

- вариант 2 прямоугольной зелёной полосы удовлетворяет нормативным требованиям дальности видимости ночью в условиях хорошей видимости атмосферы, сильной дымки и среднего тумана, однако не удовлетворяет нормативным требованиям дальности видимости днём в условиях хорошей видимости, сильной дымки и среднего тумана.

Из данных представленного анализа следует, что для условий среднего тумана днём регламентированная минимальная сила света светофорных головок/полос недостаточна для обеспечения дальности видимости 400 м.

Координаты автора: **Димитров Р.** – rudimitrov@mail.bg.

Статья поступила в редакцию 26.01.2018, принята к публикации 27.02.2018.

ВЫВОДЫ

- Предложена процедура для теоретического определения максимальной (предельной) дальности видимости светофорных головок, используемых в скоростной сигнализации (и не только).

- Демонстрируется эвристический подход для определения максимальной (предельной) дальности видимости днём некруглых (прямоугольных/квадратных/эллиптических) светящихся объектов.

- По описанной процедуре и заданной силе света, излучаемой светофорной головкой/полосой, можно определить максимальную (предельную) дальность видимости и разработать номограммы для разного цвета светофорных огней при различных состояниях атмосферы.

- Предложенная процедура позволяет решать и обратную задачу, а именно — при заданной нормативной дальности видимости и граничном состоянии атмосферы определять необходимую силу света, излучаемого светофорной головкой/полосой.

- Выполненные исследования показывают, что в отношении дальности видимости светофорных головок/полос определяющими являются условия их восприятия днём, а также вертикальные размеры прямоугольных излучателей/полос.

- Сила света по оптической оси светофорных головок/полос для режима «ночь» может быть как минимум в три раза ниже силы света для режима «день».

- Для условий среднего тумана днём регламентированная минимальная сила света по оптической оси светофорных головок/полос недостаточна, чтобы обеспечить дальность видимости 400 метров.

ЛИТЕРАТУРА

1. Наредба № 58 от 2 август 2006 г. за правилата за техническата експлоатация, движението на влаковете и сигнализацията в железопътния транспорт. Издадена от Министерството на транспорта, изм. ДВ бр. 43 от 9 Юни 2009 г.

2. Техническа спецификация на ДП «НК ЖИ» ТС-ЖИ 017–2010 «Светофори», София, 2010.

3. Путьевая блокировка и авторегулировка / Под ред. Н. Ф. Котляренко. — М.: Транспорт, 1983. — 408 с. ●

