

## РЕКОМЕНДАЦИЯ МСЭ-R RS.1744

**Технические и эксплуатационные характеристики наземных метеорологических вспомогательных систем, работающих в диапазоне частот 272–750 ТГц**

(Вопрос МСЭ-R 235/7)

(2006)

**Сфера применения**

В данной Рекомендации предоставлены эксплуатационные и технические характеристики типичных метеорологических вспомогательных систем, работающих в оптическом диапазоне частот 272–750 ТГц.

Ассамблея радиосвязи МСЭ,

*учитывая,*

- a) что результаты наблюдений в диапазоне частот 272–750 ТГц (далее именуемых оптическими) предоставляют важную информацию для практической метеорологии и научных исследований атмосферы и климата;
- b) что спектр в оптическом диапазоне частот применяется в активных и пассивных системах метеорологических датчиков, а также для многих других применений;
- c) что технология для метеорологических датчиков, использующих оптическую часть спектра, постоянно развивается для обеспечения большей точности и разрешающей способности данных измерения;
- d) что частоты в оптическом диапазоне частот на сегодняшний день используются в каналах передачи данных, приборах измерения расстояний и других активных системах, построенных на платформах наземного и космического базирования, и так как эти системы быстро расширяются и их число увеличивается, вероятно, что помехи между оптическими метеорологическими датчиками и другими оптическими системами также будут увеличиваться;
- e) что много применений активных и пассивных систем, работающих в оптическом диапазоне, очень близко к системам, использующих низкие частоты в электромагнитном спектре;
- f) что настало время рассмотреть характер защитных мер и соображений по совместному использованию частот для гарантии того, чтобы оптические метеорологические датчики наземного базирования могли продолжать работать без помех,

*рекомендует,*

**1** чтобы операторы метеорологических вспомогательных систем, работающих в оптическом диапазоне частот, принимали во внимание возможность помех от других оптических передатчиков при выборе мест для наблюдений и при проектировании датчиков;

**2** чтобы исследования помех, влияющих на оптические метеорологические вспомогательные системы и производимых ими, принимали во внимание технические и эксплуатационные характеристики, приведенные в Приложении 1.

## Приложение 1

### 1 Введение

Наземные системы метеорологических датчиков, использующие спектр в оптическом диапазоне частот, работают, в основном, в диапазоне 272–750 ТГц и применяются множеством метеорологических служб и других организаций, занимающихся метеорологическими и климатическими исследованиями. В данном Приложении предоставлены технические и эксплуатационные характеристики типичного набора метеорологических датчиков, которые передают и принимают сигналы на оптических частотах.

### 2 Лазерные измерители высоты облаков

#### 2.1 Технические характеристики измерителя высоты облаков

Измеритель высоты облаков состоит из лазера в качестве передающего источника и фотодатчика для приемника. С помощью лазерного измерителя высоты облаков измеряется и представляется информация о ярусе облачности в атмосфере путем использования невидимого лазерного излучения для определения яруса облачности. Принцип работы заключается в передаче импульса лазерного излучения в атмосферу и измерения возвращенного излучения, отраженного встречающимися на пути объектами навстречу измерителю высоты облаков. Путем измерения интервала времени между передачей и приемом вычисляется и передается в модуль сбора данных информация о высоте частиц (таких как водяных капель или кристаллов льда в облаках) над измерителем высоты облаков.

Измерители высоты облаков относятся к приборам лазерной локации (ЛИДАР). Определение высоты облаков основывается на электронной интерпретации эха обратного рассеяния, получаемого при помощи уравнения ЛИДАР:

$$Pr(h) = E_0 \times \frac{c}{2} \times \frac{A}{h^2} \times \beta(h) e^{-T}, \quad (1)$$

где

- $Pr(h)$ : мгновенное значение мощности, полученное с высоты  $h$  (W)
- $E_0$ : эффективная энергия импульса, компенсирующая оптическое затухание (J)
- $c$ : скорость света (м/с)
- $A$ : апертура приемника (м<sup>2</sup>)
- $h$ : высота, на которой происходит возникновение эха обратного рассеяния (м)
- $\beta(h)$ : коэффициент мощности обратного рассеяния на высоте  $h$ , часть света, отраженная по направлению к измерителю высоты облаков (м<sup>-1</sup>ср<sup>-1</sup>) (ср = стерадиан)
- $T$ : атмосферное пропускание, которое является причиной затухания переданной мощности и мощности обратного рассеяния на различных высотах между приемопередатчиком и высшей точкой обратного рассеяния; равняется 1 в ясной атмосфере (т. е. где нет затухания); этот термин в уравнении ЛИДАР применяется для определения того, какое эхо обратного рассеяния получено от взаимодействия с облаками и какое от других препятствий, таких как туман или осадки.

#### 2.2 Типичная система А измерения высоты облаков

Система А способна измерять высоту облаков приблизительно до 3700 м. Она используется совместно с другим оборудованием мониторинга погоды, таким как датчики видимости, осадков, температуры и точки росы для поддержки авиации и для составления прогноза погоды.

Система А определяет высоту облаков путем излучения импульсного лазера в атмосферу и измерения интервала времени, необходимого для возникновения эха обратного рассеяния от частиц в атмосфере, если они присутствуют, и фиксации эха установленным рядом приемником. Импульс лазера номинальной длиной волны 904 нм (331,8 ТГц) и длительностью 150 нс излучается

однократно за цикл измерения. Замеры приемника затем обрабатываются каждые 100 нс по 25,4 мкс, чтобы получить 254 хранимых значений для каждого цикла измерений, обеспечивая 15-метровую разрешающую способность при измерении высоты в пределах 3850 м. Для каждого цикла пространственный профиль плотности рассчитывается для вертикального столба атмосферы, расположенного прямо над измерителем высоты облаков на высоте от 0 до 3850 м, каждый из которых может быть интерпретирован как вычисленная высота облаков и информация об облачном слое. Результаты различных замеров усредняются для минимизации влияния ошибочных замеров.

### 2.2.1 Передающее устройство

Лазерный диод на арсениде галлия (GaAs) излучает импульсы с длиной волны, равной 904 нм, с частотой повторения следования импульсов между 620 Гц и 1120 Гц. Точная частота следования регулируется процессором для поддержания постоянной средней мощности в 5 мВт с номинальной заводской настройкой 770 Гц.

Каждый импульс лазера излучается с размахом в 30°. Линзы с эффективным диаметром 11,8 см и фокусным расстоянием 36,7 см предназначены для фокусирования падающего луча. Максимальная плотность излучения составляет 50 мкВт/см<sup>2</sup>, рассчитанная с диаметром апертуры 7 мм.

Передающее устройство содержит датчик света для определения мощности выходного лазера и мощности входящего небесного света. Фотодиод, направленный вниз, предназначен для контроля мощности выходного лазера. Сила мешающего фототока окружающей внешней среды при максимальном значении значительно меньше, чем сила тока лазерного импульса и поэтому не влияет на отклонение мощности лазера. Пиковое значение испускаемой лазером мощности составляет 40 Вт. Выходной сигнал датчика света лазера является входным для платы центрального процессора и используется для ограничения средней излучаемой энергии до 5 мВт. Фотодиод, направленный вверх, с максимальным отклонением от вертикали на 5,7°, применяется для контроля входящего света. Его сигнал является входом для дополнительной схемы затвора от солнца, которая будет рассмотрена далее, и для главного процессора для целей контроля. Чувствительность датчика небесного света составляет приблизительно 0,4 А/Вт. Прямой солнечный свет в чистой атмосфере производит примерно 1200 Вт/м<sup>2</sup>, с типичным током в 1,1 мА. Чистое синее небо обычно вырабатывает для датчика небесного света ток 10 мкА; в условиях помещения обычно вырабатывается ток меньше чем 1 мкА.

Измерители высоты облаков конструкции системы А, которые установлены в тропических регионах от 30° северной до 30° южной широты, оборудованы дополнительным затвором от солнца, установленным на передающем устройстве. Передающие линзы закрыты затвором в то время, когда прямой солнечный свет может попасть на систему линз. Измерители высоты облаков, оборудованные солнечными затворами, также оснащаются тропическим принимающим устройством, которое включает иные блоки фильтров и элементов крепления, отличные от тех, которые используются для установки на стандартное принимающее устройство.

### 2.2.2 Принимающее устройство

Линзы с эффективным диаметром 11,8 см и фокусным расстоянием 8,4 см применяются для фокусирования возвращенного излучения от частиц в атмосфере на кремниевый лавинный диод. Чувствительность фотодиода зависит от температуры. Она компенсируется температурно-зависимой регулировкой напряжения смещения в схеме приемника, которая имеет заводскую настройку, в которой температура устанавливается равной комнатной для выработки номинальной чувствительности, равной 40 А/Вт.

Фильтр подавления помех с шириной полосы 50 нм устанавливается на линзы приемника для защиты от фонового электромагнитного шума. Особый фильтр устанавливается на устройства, оснащенные дополнительным затвором от солнца.

## 2.3 Типичная система В измерения высоты облаков

Основы функционирования измерителя высоты облаков системы В идентичны системе А, с некоторыми отличиями, отмеченными ниже. Система В может быть использована для определения высоты облаков и вертикальной видимости до 7300 м и способна одновременно обнаружить три слоя облаков. Кроме того, она способна определять наличие осадков или других препятствий видимости.

### 2.3.1 Передающее устройство

Лазерный диод на арсениде индия и галлия (InGaAs) излучает импульсы с длиной волны, равной  $905 \pm 5$  нм (331,5 ТГц), продолжительностью 100 нс и с частотой повторения следования импульсов, равной 5,57 кГц. Пиковое значение испускаемой мощности составляет 16 Вт при 8,9 мВт средней мощности.

### 2.3.2 Принимающее устройство

Фильтр подавления помех с шириной полосы 35 нм, центрированный на значении 908 нм, установлен на линзах приемника Системы В для защиты от фоновое электромагнитного шума. Заводская настройка чувствительности составляет 65 А/Вт при 905 нм.

ТАБЛИЦА 1

Характеристики измерителя высоты облаков

Параметр	Система А	Система В
<u>Оптика и лазер передатчика</u>		
Пиковая мощность	40 Вт	10–20 Вт
Длительность (50% уровень)	135 нс (стандартная)	20–100 нс (стандартная)
Мощность (диаметр = 118 мм)	6,6 мкВт/с	
Частота повторения	620–1 120 Гц	5–10 кГц
Источник	Диод на арсениде галлия (GaAs)	Диод на арсениде индия и галлия (InGaAs)
Длина волны	904 нм	855/905/910 нм при 25°C
Режим работы	Импульсный	Импульсный
Мощность переданного импульса	6 мкДж $\pm$ 10%	1–2 мкДж $\pm$ 20%
Средняя мощность	5 мВт	5–10 мВт (измерения в полном диапазоне)
Максимальная плотность облучения	50 мкВт/см <sup>2</sup> , рассчитанная при 7 мм диаметре апертуры	170–760 мкВт/см <sup>2</sup> , рассчитанная при 7 мм диаметре апертуры
Фокусное расстояние оптической системы	36,7 см	35–40 см
Эффективный диаметр линзы	11,8 см	6–15 см
Расходимость луча передатчика	максимально $\pm$ 2,5 мрад	$\pm$ 0,4 – $\pm$ 0,7 мрад
Коэффициент пропускания линзы	Обычно 90%	Обычно 96%
Коэффициент пропускания окна	Обычно 97%, при чистом окне	Обычно 98%, при чистом окне
<u>Оптика приемника</u>		
Детектор	Кремниевый лавинный фотодиод	Кремниевый лавинный фотодиод
Чувствительность	40 А/Вт, при 904 нм	65 А/Вт, при 905 нм
Диаметр поверхности	0,8 мм	0,5 мм
Фильтр подавления помех	940 нм	908 нм с типичной центральной длиной волны
Фильтр с 50% полосой пропускания	Обычно 880–940 нм	35 нм при стандартных 880–925 нм
Пропускаемость фильтра при 904 нм	Обычно 85%, минимально 60%	Обычно 80%, минимально 70%
Фокусное расстояние	15,0 см	
Эффективный диаметр принимающих линз	11,8 см	
Область видимого отклонения	$\pm$ 2,7 мрад	$\pm$ 0,66 мрад
Коэффициент пропускания линзы	Обычно 90%	Обычно 96%
Коэффициент пропускания окна	Обычно 97%, при чистом окне	Обычно 98%, при чистом окне

Параметр	Система А	Система В
Оптическая система		
Расстояние между линзами, передатчик – приемник	30,1 см	
Лазерный луч, входящий в область видимости приемника	30 м	
Лазерный луч, на 90% входящий в область видимости приемника	300 м	
Рабочие характеристики		
Диапазон измерений	От 0 до 3 700 м	От 0 до 7 300–13 000 м
Разрешающая способность	15 м	3–15 м
Время сбора данных	Максимально 30 с (для высоты 3 658 м)	2–120 с
Пропускная способность системы (3 дБ)	10 МГц при малом усилении, 3 МГц при сильном усилении	3 МГц
Допустимое количество осадков	До 7,5 мм в час, ограничено диапазоном	

### 3 Датчики видимости

#### 3.1 Технические характеристики датчиков видимости

Датчики видимости применяются для обеспечения возможности автоматического определения текущего уровня видимости, а также выявления текущих условий дня/ночи. Традиционный метеорологический метод определения степени видимости состоит в определении максимального расстояния, с которого будет видна черная мишень при туманном/облачном фоне. Датчики видимости обеспечивают автоматическое определение степени видимости. При помощи датчиков видимости метеорологический оптический диапазон окружающей среды (видимость) измеряется при помощи использования метода прямого рассеяния. Этот метод включает в себя пропускание вспышки ксеноновой лампы через область атмосферы (которая рассеивает свет) и измерение уровня рассеяния света для определения величины затухания. Коэффициент поглощения рассчитывается путем определения количества света, полученного от вспышки ксеноновой лампы как рассеянного источника света. Этот коэффициент затем преобразовывается в значение видимости. Датчик видимости также вычисляет и выводит индикацию дня или ночи, которая определяется путем использования датчика внешней освещенности.

#### 3.2 Типичные системы с датчикам видимости

С помощью типичного датчика видимости возможно рассчитать коэффициент поглощения, соответствующий видимости вплоть до 16 км. Устройство определения дня/ночи указывает на дневные или ночные условия в соответствии с уровнем внешней освещенности и функционирует для уровней внешней освещенности до 540 люкс. Датчик дня/ночи ставит признак "день" для освещенности большей, чем 32 люкс, и определяет признак "ночь" для освещенности, меньшей чем 5 люкс. Переход от признаков "день" и "ночь" происходит однократно в пределах от 32 до 5 люкс (если освещенность уменьшается), в то же время переход от признаков "ночь" и "день" также осуществляется однократно в пределах от 5 до 32 люкс (если освещенность увеличивается). Датчик дня/ночи устанавливается в том же направлении, что и приемник.

Датчик видимости может иметь как один, так и два фильтра от радиопомех (в зависимости от номера модели прибора), которые располагаются в корпусе электронного устройства.

##### 3.2.1 Передающее устройство

В передающем устройстве используется вспышка ксеноновой лампы для создания видимого света для рассеивания. Свет фокусируется в рассеиваемый объем при помощи неподвижных линз, установленных в передающем устройстве.

### 3.2.2 Принимающее устройство

Принимающее устройство обнаруживает посланный свет ксеноновой лампы после того, как он был рассеян атмосферой. Датчик представляет собой положительный-собственный-отрицательный (PIN) фотодиод, установленный в корпусе приемника. Свет фокусируется на диод при помощи неподвижных линз, установленных в принимающем устройстве. Фотодиод преобразует энергию света в электрический ток для обработки сигнала.

Устройство определения дня/ночи представляет собой фотометр, который определяет интенсивность света путем использования фотодиода, установленного за прозрачным окошком. Фотодиод размещен так, что его поле видимости расположено под углом  $6^\circ$  над уровнем горизонта.

ТАБЛИЦА 2

#### Характеристики датчика видимости

Параметр	Система А	Система В
Источник	Ксеноновая импульсная лампа	Инфракрасный диод
Длина волны	400–1100 нм	400–1100 нм
Скорость повторения импульсов	0,1–1 Гц	1 Гц
Датчик приемника	PIN-фотодиод	Кремниевый фотодиод
Основное направление наблюдения	Горизонтальное	$20^\circ$ над горизонтом
Поле зрения	$6^\circ$ над горизонтом	9 мрад
Полоса пропускания приемника	400–700 нм	400–700 нм
Пик освещенности, ведущий к повреждению оптического датчика	Больше чем у прямого солнечного света	Больше чем у прямого солнечного света
Диапазон расстояний для датчика видимости	Вплоть до 16 км	Вплоть до 75 км

## 4 Датчики осадков

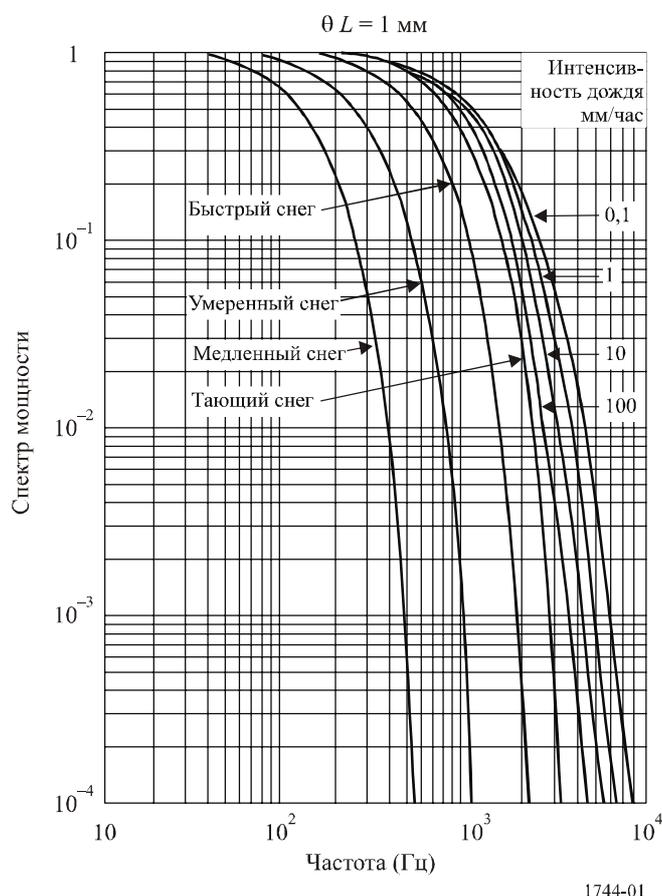
### 4.1 Технические характеристики

Датчики осадков, также называемые датчиками прямого рассеяния, предназначены для обеспечения оценки как наличия осадков ("истина" или "ложь"), так и, в случае их присутствия, характеристик самих осадков (дождь, снег и т.д.). Они также могут быть использованы для измерения видимости. Методы измерения параметров осадков основаны на использовании оптических и микроволновых технологий. Безусловно, измеряемые параметры могут быть рассчитаны, основываясь на оценке ослабления (затухания), рассеивания, эффекта Доплера или вспышки от источников энергии, переданной от передатчика приемнику.

Рассматриваемые датчики осадков используют эффект рассеивания, возникающего, когда интерферирующая частица (осадки) взаимодействует с частично когерентным источником света. Это вызванное материальными объектами рассеяние падающего света от источника формирует сцинтилляции в приемнике. Сцинтилляции, вызванные атмосферными осадками, проходя через оптический луч считываются и усредняются для расчета параметров осадков. Временной частотный спектр возбужденных сцинтилляций меняется в зависимости от размера и скорости падающих осадков. Спектры мощности для осадков различной интенсивности и различных типов снега представлены на Рис. 1.

РИСУНОК 1

Временной спектр мощности сцинтилляций, индуцированных снегом – Спектры мощности осадков различной интенсивности приведены для сравнения



При помощи технологии сцинтилляций определяются только сцинтилляции, возбужденные движущимися частицами и, таким образом, не воспринимаются загрязнения, созданные туманом, атмосферной дымкой, пылью и дымом. Использование горизонтальной приемной апертуры способствует лучшему различению горизонтального и вертикального движения, представляющего основу падения осадков. Мощность сигнала несущей в луче применяется для нормализации сцинтилляций для устранения ошибок, вызванных изменением интенсивности источника, загрязнениями на оптике и т. д.

#### 4.2 Типичные системы с датчиками осадков

Датчики осадков используют сцинтилляции, возбужденные атмосферными осадками от источника света, такого как система со светодиодом ИК-диапазона (IRED) для определения состояния, типа (дождь, снег, изморось и т. д.) осадков и измерения их интенсивности. Датчик обычно состоит из двух основных частей: U-образной рамки и кожуха главного электрического блока. Головки датчиков передатчика и приемника расположены напротив краев рамки. Расстояние между передатчиком и головками датчика составляет обычно порядка 1 м.

Временной спектр плотности обнаруженных сцинтилляций рассчитывается внутренним процессором и сравнивается с нормализованными опорными значениями для определения текущих параметров осадков. Наведенный осадками спектр мощности для этой системы обычно достигает минимального значения, обычно большего, чем 5 кГц, и поэтому переданное излучение модулируется с сигналом несущей частоты для обеспечения приемлемого соотношения сигнал/шум при различных типах фонового светового загрязнения. Этот сигнал модулированный несущей амплитудно модулируется частицами, проходящими через луч. В оптическом принимающем устройстве используется апертура горизонтальных линий для обеспечения чувствительности к вертикальному движению осадков.

Для уменьшения возможных проблем, связанных с EMI/RFI, кожух главного электронного блока содержит тщательно подогнанную уплотнительную прокладку из силиконового каучука, помещенную в проволочную сетку из никелево-медного сплава.

#### 4.2.1 Передающее устройство

В датчике осадков обычно применяется инфракрасный диод как источник передаваемого сигнала. Источник передачи фокусируется через линзы, размещенные в передающем устройстве.

#### 4.2.2 Принимающее устройство

Модулированный световой сигнал обычно обнаруживается PIN-фотодиодом. В приемнике применяется большой угол приема для минимизации отклонений сигнала, вызванных вибрацией опоры. В приемнике используются линзы такого же типа, что и в передатчике.

ТАБЛИЦА 3

Характеристики датчика осадков

Параметр	Система А	Система В
Источник передачи	Инфракрасный диод	Диод
Длина волны источника	880 нм	870–920 нм
Переданная энергия	10 мВт	2–20 мВт
Характеристики линз	175 мм/f3.5	Не определены
Частота модуляции	Не определена	2,0–4,0 кГц
Датчик приемника	Инфракрасный диод	Кремниевый фотодиод
Ширина полосы пропускания приемника	780–1100 нм	780–1100 нм
Площадь кристалла	2,75 мм <sup>2</sup>	Не определена
Характеристики линз	175 мм/f3.5	Не определены
Крепление для фильтра	1 мм горизонтальный разъем с инфракрасным фильтром № 87С	Фильтр промежуточной частоты
Уровень освещенности, ведущий к повреждению оптического датчика	Больше чем у прямого солнечного света	Больше чем у прямого солнечного света
Основное направление наблюдения	Горизонтальное	20° над горизонтом
Поле видимости приемника	100 мрад	100 мрад
Оптическая длина пути	0,5 м	0,3–1,0 м

## 5 Датчики солнечного света

Датчики солнечного света представляют собой пассивные устройства датчиков для автоматического измерения общего и рассеянного излучения солнца, а также продолжительности ясного солнечного света в течение дня. Датчики солнечного света имеют большое количество способов применения и основаны на определении состояния ясного солнечного света и/или уровня солнечного излучения. Всемирная метеорологическая организация (ВМО) дает определение ясного солнечного света как уровня освещенности, большего чем 120 Вт/м<sup>2</sup> под прямыми солнечными лучами. Кроме того, датчики солнечного света используются в оперативной и исследовательской метеорологии, а также находят следующие применения: обогрев/охлаждение зданий и создание солнцезащитных укрытий, сельское хозяйство и земледелие, климатология.

В использовании находятся несколько различных видов датчиков, но все они работают на одном и том же принципе. Датчик состоит из одного или нескольких фотодиодов, причем некоторые устройства содержат большое количество фотодиодов. Различие в существующих системах состоит в том, как они осуществляют измерение рассеянного и прямого солнечного света. Для определения

этих двух параметров в системе один из датчиков должен находиться под прямым солнечным светом все время в течение дня, а, по крайней мере, один другой датчик должен быть затенен. Способы затенения фотодетекторов различны. В некоторых устройствах применяется теневой круг, который располагается между датчиком и дугой, по которой солнце движется в течение дня. В других устройствах используется вращающийся датчик и поэтому он поочередно освещается то прямым, то рассеянным солнечным светом, и третий тип устройств имеет массив датчиков с системой затенения, расположенной на некотором расстоянии над ними и, таким образом, по крайней мере один из датчиков затенен, а другой освещается прямыми солнечными лучами в течение дня.

ТАБЛИЦА 4

## Характеристики датчиков солнечного света

Параметр	Система А
Тип датчика	Фотодиод
Тип солнцезащитного устройства	Специальная структура над системой фотодиодов
Диапазон чувствительности PAR	0–2500 мкмоль/м <sup>2</sup> сек
Разрешающая способность PAR	0,6 мкмоль/м <sup>2</sup> сек
Энергетический диапазон чувствительности	0–1250 Вт/м <sup>2</sup>
Энергетическая разрешающая способность	0,3 Вт/м <sup>2</sup>
Диапазон чувствительности освещенности	0–200 клюкс
Разрешающая способность освещенности	0,06 клюкс
Пропускная способность спектральной чувствительности	400–700 нм
Время отклика	<200 мс

## 6 Датчики освещенности

Датчики освещенности представляют собой измерительные системы, которые определяют фоновую освещенность атмосферы. Фоновая освещенность предполагает измерение видимости при помощи датчиков видимости (трансмиссомеров). Они являются пассивными устройствами, похожими на датчики солнечного света.

ТАБЛИЦА 5

## Характеристики датчика освещенности

Параметр	Система А	Система В
Тип датчика	Кремниевый фотодиод	Кремниевый фотодиод
Диапазон чувствительности освещенности	Не определен	2–40 000 кд/м <sup>2</sup>
Разрешающая способность освещенности	Не определена	1 кд/м <sup>2</sup>
Ширина полосы спектральной чувствительности	400–700 нм	400–700 нм
Основное направление наблюдения	30° над горизонтом	30° над горизонтом
Поле видимости приемника	87 мрад	105 мрад
Уровень сигнала, ведущего к перегоранию датчика	Больше чем у прямого солнечного света	Больше чем у прямого солнечного света