

## Особенности построения лазерного измерителя скорости и дальности ЛИСД-2М

Ю.В.Абазадзе, Н.А.Лицарев, В.Л.Почтарев, В.А.Пашков, А.Ю.Хачиев, А.А.Казаков, Ю.П.Коваль, В.А.Симаков, В.Н.Неуструева, Г.С.Егорова, И.Д.Залевский, А.А.Бородкин, С.М.Сапожников

*Рассмотрены особенности построения лазерного измерителя скорости и дальности, основанного на использовании импульсных гетеролазеров на AlGaAs/GaAs. Приведены характеристики не только самого измерителя, но и отдельных его элементов (лазерной решетки и фотоприемного устройства).*

**Ключевые слова:** лазерный измеритель скорости, решетка лазерных излучателей, кремневый лавинный фотодиод.

В настоящее время основными средствами контроля скоростного режима на автодорогах являются радиолокационные приборы СВЧ диапазона [1], в которых для измерения скорости используется эффект Доплера. Эти приборы достаточно просты по своей конструкции, но обладают весьма существенным недостатком – широкой диаграммой направленности излучения. В их лучших образцах частота излучения лежит в сантиметровом диапазоне, а расходимость излучения составляет примерно  $10^\circ$ .

Практически это означает, что на расстоянии 100 м луч захватывает несколько полос движения и при большой плотности транспортных средств отраженный сигнал приходит одновременно от нескольких объектов. В этих условиях система измерений строится на принципе выделения объекта, движущегося с наибольшей скоростью. Однако идентификация конкретного транспортного средства в потоке машин весьма субъективна.

Кардинальным решением данной проблемы является переход к измерителям скорости на основе приборов, использующих лазерное излучение. С помощью оптической системы можно получить необходимую расходимость излучения лазера, такую, чтобы поперечный размер лазерного пятна на расстоянии 300–400 м не превышал поперечных размеров автомобиля. В этом случае все излучение с помощью оптического прицельного устройства прибора можно навести на один автомобиль в потоке машин и измерить его скорость. При неточном наведении и получении отраженных сигналов от разных автомобилей система обработки отраженных сигналов прибора заблокирует результаты измерений.

К особенностям построения лазерного измерителя скорости и дальности относятся:

- обеспечение полной безопасности для глаз в соответствии с требованиями лазерной безопасности как для автомобилистов, так и для работающих с приборами;
- создание излучателя со специальной диаграммой направленности лазерного излучения заданной формы, обеспечивающего после прохождения излучения через

формирующую оптику квадрат излучения со сторонами  $0.23 \times 0.23^\circ$ ;

- обеспечение достоверности результатов измерений, в том числе блокировки результатов измерения при неточном наведении излучения;

- минимизация энергопотребления, массы и габаритов прибора.

Необходимость обеспечения безопасности для глаз определяет тип излучателя – полупроводниковый лазер, работающий в импульсном режиме, – и предельно допустимую пиковую мощность излучения. Как показали расчеты, при частоте следования импульсов 2.2 кГц и длительности импульса излучения  $50 \pm 10$  нс пиковая мощность лазерного излучения на длине волны  $\lambda = 0.9$  мкм не должна превышать 100 Вт. С другой стороны, при такой пиковой мощности дальность действия прибора должна составлять минимум 400 м (для автомобиля темного цвета). Отсюда вытекает требование к чувствительности фотоприемного устройства (ФПУ) – не хуже  $3 \times 10^{-9}$  Вт на длине волны излучателя. При этом в расчетах максимальной чувствительности ФПУ учитывалось, что диаметр входной оптики прибора равен 50 мм.

Перечисленные требования определили особенности построения как лазера и ФПУ, так и прибора в целом. Рассмотрим эти особенности более подробно.

При разработке лазера исходили из следующих требований: мощность в импульсе 25–30 Вт при диаграмме направленности с углом раствора  $27^\circ$ , токе не более 20 А и ресурсе  $10^9$  импульсов излучения. Этим требованиям может удовлетворить только наборный лазерный излучатель, представляющий собой решетку лазерных диодов площадью  $0.36 \times 0.36$  мм, состоящую из пятнадцати 100-микронных излучающих полосок. Для предотвращения возникновения кольцевых мод и уменьшения потерь в резонаторе каждый лазерный диод выполнен в виде трех 100-микронных излучающих полосок, разделенных промежутками по 30 мкм и соединенных между собой параллельно. Такие диоды установлены в пять рядов и соединены последовательно.

Лазерные диоды, входящие в решетку, изготавливались на основе двойной гетероструктуры AlGaAs/GaAs с отдельным ограничением носителей заряда и фотонов. Структуры выращивались методом МОС-гидридной эпитаксии, в процессе которой из газовой фазы на под-

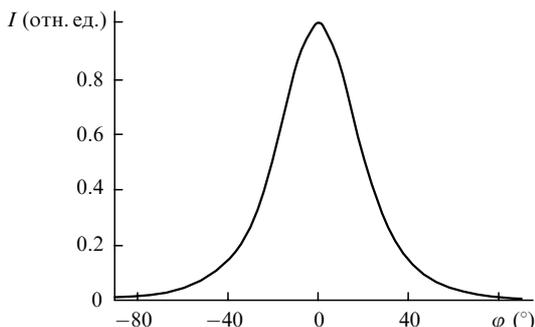


Рис.1. Расходимость излучения в плоскости, перпендикулярной *p-n*-переходу типовой структуры.

ложке GaAs *n*-типа последовательно наращивались следующие слои: буферный слой, легированный Si; широкозонный *n*-эмиттер, содержащий ~ 50 % алюминия; волноводный слой *n*-типа (~ 30–35 % алюминия); активная область; волноводный слой *p*-типа (~ 30–35 % алюминия); широкозонный *p*-эмиттер и высоколегированный контактный слой.

Изготовленные из такой типовой структуры лазерные диоды имеют диаграмму излучения в перпендикулярной *p-n*-переходу плоскости, обеспечивающую концентрацию в конусе с углом 27° при вершине примерно 50 % всей излучаемой лазерным диодом мощности (рис.1). Как показали исследования, излучатели, собранные из таких диодов, обеспечивали получение требуемой мощности излучения, близкой к мощности, при которой происходит разрушение зеркал резонатора и возникает катастрофическая деградация лазерного диода.

Таким образом, из проведенных экспериментов следует, что для лазерной решетки, пригодной для использования в лазерном измерителе скорости и дальности ЛИСД-2М, типовая эпитаксиальная структура не подходит и должна быть доработана. Необходима доработка

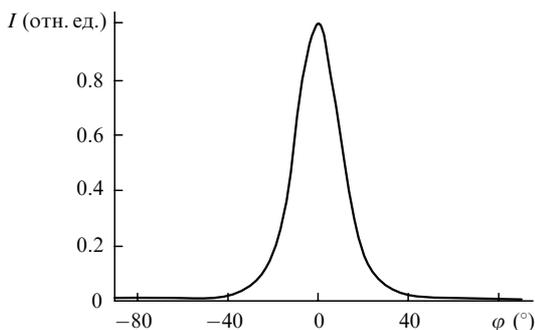


Рис.2. Расходимость излучения в плоскости, перпендикулярной плоскости *p-n*-перехода структуры, разработанной для лазерного измерителя скорости.

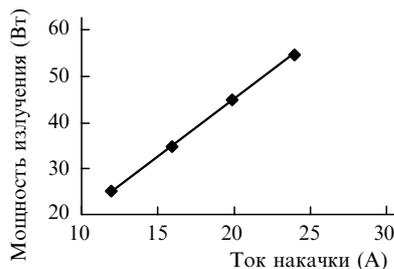


Рис.3. Ватт-амперная характеристика излучателя ИЛПИ-131.

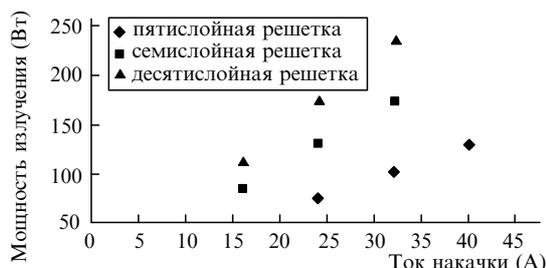


Рис.4. Ватт-амперные характеристики наборных решеток.

структуры должна быть направлена на уменьшение расходимости излучения и увеличение доли мощности в конусе с углом 27°.

Расчеты показали, что для получения требуемой мощности в требуемом угле и обеспечения высокой надежности и стабильности работы излучателя соотношение алюминия в эмиттере и волноводе должно быть порядка 43/35. Выращенная с учетом этого требования структура при испытаниях имела расходимость излучения в плоскости, перпендикулярной *p-n*-переходу, порядка 25° по уровню 0.5 (рис.2). При этом в конусе с углом 27° содержалось до 80% всей излучаемой мощности. Изготовленная из данной структуры лазерная решетка (излучатель ИЛПИ-131) полностью соответствовала заданным требованиям. Ватт-амперная характеристика излучателя ИЛПИ-131 приведена на рис.3.

В рамках проведенных работ были собраны и испытаны наборные лазерные излучатели, состоящие из 7 и 10 последовательно соединенных лазерных диодов. Типичные ватт-амперные характеристики приведены на рис.4. Экспериментальные исследования показали возможность изготовления наборных излучателей в едином блоке с диапазоном мощностей 25–250 Вт и размером тела свечения от 0.36 × 0.4 мм до 0.72 × 0.8 мм.

В табл.1 приведены технические параметры лазерных излучателей. Блоки питания к ним были выполнены на современной элементной базе, что позволило минимизировать энергопотребление и габариты блоков.

Табл.1. Технические параметры лазерных излучателей размером 60 × 40 × 10 мм с длиной волны 800–810 нм при температуре 25 °С.

Тип лазерного излучателя	Выходная мощность (Вт)	Частота повторения импульсов запуска (Гц)	Длительность импульса (нс)	Потребляемый ток (А)	Напряжение питания (В)	Габариты тела свечения (мм)	Спектральная ширина линии (нм)	Расходимость (°)		Диапазон рабочих температур (°С)
								перпендикулярно <i>p-n</i> -переходу	параллельно <i>p-n</i> -переходу	
LPI-50M-805	50	1000–5000	100	0.1	5 ± 1	0.4 × 0.4	3	25	10	–40...60
LPI-100M-805	100	1000–5000	100	0.2	5 ± 1	0.4 × 0.4	3	25	10	–40...60
LPI-150M-805	150	1000–5000	100	0.3	5 ± 1	0.4 × 0.8	3	25	10	–40...60

Примечание. Температурный дрейф длины волны излучения не превышал 0.3 нм/°С, применялся автогенераторный (частота задавалась заказчиком) либо внешний (запускающий импульс напряжения имел амплитуду 5 В и длительность 10 мкс) запуск генератора импульсов тока.

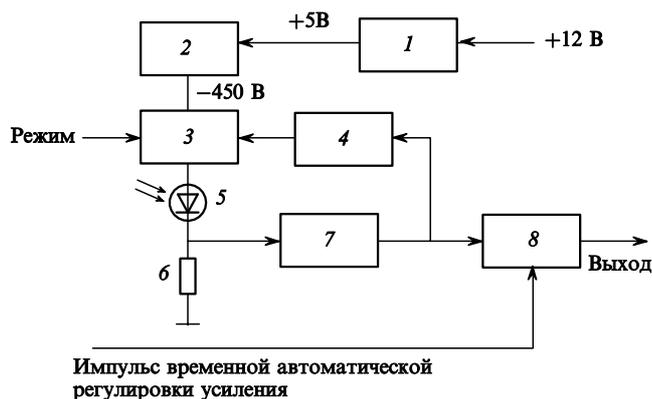


Рис.5. Структурная схема ФПУ:  
 1 – источник питания +5 В; 2 – источник питания –450 В; 3 – регулятор напряжения лавины; 4 – детектор шума; 5 – фотодиод; 6 – сопротивление нагрузки; 7 – предварительный усилитель; 8 – компаратор обнаружения.

Для обеспечения заданной чувствительности ФПУ в качестве фотодиода был использован кремниевый лавинный фотодиод (ЛФД). Для таких диодов существует оптимальный коэффициент лавинного умножения  $M_{opt}$ , определяемый по максимуму отношения сигнал/шум [2], которое зависит, в первую очередь, от темнового тока ЛФД и тока, обусловленного фоновой засветкой прибора. Одной из особенностей ЛИСД-2М является то, что в нем для облегчения наведения и удержания оптической оси на транспортном средстве предусмотрено достаточно широкое поле зрения приемника (4 мрад). Условия эксплуатации ЛИСД-2М весьма различны. Измерения могут проводиться и в солнечный день, и вечером, и в свете фар встречного автотранспорта. Вследствие этого влияние фона весьма существенно и его обязательно надо учитывать.

Таким образом, для максимального использования возможностей кремниевого ЛФД при изменении фоновой обстановки чувствительность ФПУ должна быть адаптируемой, т. е. способной автоматически изменяться от оптимальной до максимально возможной. Этот принцип был заложен при проектировании ФПУ для ЛИСД-2М и аналогичных приборов. Структурная схема ФПУ приведена на рис.5.

ФПУ построен по классической схеме, включающей в себя оптимальный приемник (лавинный фотодиод 5), предварительный усилитель 7, а также компаратор обнаружения 8. В период времени, когда не происходит прием ответного светового импульса, ФПУ находится в режиме регулировки напряжения лавины по критерию минимума шумовых импульсов на выходе ПУ. Это происходит автоматически при изменении фоновой засветки, питающего напряжения и температуры окружающей среды через регулятор напряжения лавины 3 и детектор шума 4. Перед излучением светового импульса происходит переключение сигнала «режим» и регулировка на время измерения прекращается.

Все питающие напряжения (включая и напряжение – 450 В) создаются с помощью одного внешнего источника напряжения +12 В.

Основные технические параметры ФПУ приведены ниже. При использовании соответствующего фотодиода они сохраняются на длине волны 1.06 мкм.

Длина волны (мкм).....	0.8
Длительность принимаемого лазерного импульса (нс) ..	10–70
Пороговая чувствительность (нВт) .....	≤ 3
Динамический диапазон.....	10 <sup>5</sup>
Напряжения питания (В) .....	+12
Амплитуда импульсов на выходе ФПУ (В).....	2.4
Временной сдвиг выходного импульса при изменении входной мощности от 10 <sup>-8</sup> до 10 <sup>-3</sup> Вт (нс) .....	≤ 1.5
Длительность выходного импульса (нс).....	≤ 100
Диапазон рабочих температур (°С) .....	от –40 до +55
Масса (г) .....	40
Габаритные размеры (мм).....	63 × 42 × 22

Достоверность результатов измерений ЛИСД-2М обеспечивается следующим образом. Цикл измерения скорости и расстояния до автомобиля состоит из послышки в его сторону 1000 импульсов с частотой 2.22 кГц, приема отраженных сигналов и их обработки. Причем в течение первых 200 импульсов идет адаптация чувствительности ФПУ к освещенности в данный момент времени. По оставшимся 800 импульсам определяется расстояние до автомобиля (по каждому импульсу). Результаты объединяются в две группы по 400 измерений и в каждой из них вычисляются средние расстояния  $L_1$  и  $L_2$ . Разница в них за определенное время (0.18 с) пропорциональна скорости автомобиля. Причем при каждом измерении расстояние не только фиксируется, но и сравнивается с полученным в предыдущем измерении.

Если оказывается, что измеренное расстояние (дальность  $L$ ) отличается от предыдущего более чем на 10 м, цикл останавливается и результаты измерений блокируются. Действительно, за время между соседними импульсами излучения менее 0.5 мс положение автомобиля не может измениться более чем на 10 м, следовательно, принятый импульс мог отразиться только от другого автомобиля. В случае превышения автомобилем допустимой скорости для повышения достоверности результатов процедура измерения усложняется. К циклу измерений из 1000 импульсов добавляются еще 400 импульсов, по ним также вычисляется среднее расстояние ( $L_3$ ) и за то же время (0.18 с) по разности  $L_2$  и  $L_3$  повторно определяется скорость автомобиля. При совпадении данных с допустимой точностью показания прибора поступают на табло результатов измерений.

Такой способ нахождения скорости определяет направление движения автомобиля (приближение или удаление), а также позволяет произвести стробирование, т. е. выделение участка дороги, за пределами которого измерения производиться не будут. Все это способствует повышению достоверности измерений.

Минимизация энергопотребления, массы и габаритов приборов была достигнута за счет использования современной элементной базы и технологий массового производства ОАО «Красногорский завод», на котором была разработана конструкция прибора и изготовлены серийные образцы.

Основные технические характеристики прибора [3] представлены в ниже.

Диапазон измеряемых скоростей (км/ч).....	0–350
Дальность действия для автомобиля типа «Жигули» (м)....	400
Максимальная дальность действия (м).....	999.9
Минимальная дальность действия (м).....	15
Средняя квадратичная погрешность измерения скорости (км/ч) .....	2
Погрешность измерения дальности (м) .....	±(0.2 + 0.001L)

Время измерения (с).....	0.45
Длина волны лазерного излучения (мкм) .....	0.805
Ширина диаграммы направленности (рад) .....	$0.004 \times 0.004$
Ширина диаграммы направленности ( $^{\circ}$ ).....	$0.23 \times 0.23$
Поле зрения визирного устройства ( $^{\circ}$ ).....	6
Ресурс (циклы измерения).....	$50 \times 10^6$
Время готовности (с).....	0.1
Интерфейс .....	RS-232
Питание .....	4 аккумуляторные батареи типа 316;
Напряжение внешнего источника (В) .....	$12 \pm 2$
Ток внешнего источника (А).....	0.2
Габариты (мм) .....	$210 \times 162 \times 92$
Масса (кг) .....	$\leq 1.4$
Рабочая температура ( $^{\circ}\text{C}$ ).....	$-30 \dots + 50$
Класс лазерной безопасности по санитарным нормам .....	1-й

Фотография ЛИСД-2М показана на рис.6.

ЛИСД-2М имеет сертификат Госстандарта РФ и внесен в Государственный реестр средств измерений. Серийные образцы ЛИСД-2М поступили в эксплуатацию в ГИБДД г.Москвы.



Рис.6. Лазерный измеритель скорости и дальности ЛИСД-2М.

Авторы выражают благодарность специалистам ОАО «Красногорский завод», участвовавшим в создании прибора.

1. *Каталог технических средств обеспечения безопасности дорожного движения* (М.: изд. ГИБДД МВД России, 2001).
2. Росс М. *Лазерные приемники* (М.: Мир, 1969).
3. Абазадзе Ю.В., Лицарев Н.А., Почтарев В.Л. и др. *Лазерные новости*, № 3-4, 33 (1998).