

УДК 531.715.27

ОЭС регистрации габаритов приближения строений на ЖД

***Е.В. Сусеков**, студент*

*Россия, 105005, г. Москва, МГТУ им. Н.Э. Баумана,
кафедра «Лазерные и оптико-электронные приборы»*

Научный руководитель: Тимашова Л.Н., к.т.н, доцент

Россия, 105005, г. Москва, МГТУ им. Н.Э. Баумана,

baryshnikov@bmstu.ru

Введение.

Разрабатываемая система предназначена для контроля состояния тоннелей, проверки соблюдения габаритов приближения строений (таких как платформы, здания, контактный провод и фермы мостов). Она позволяет проводить регулярную проверку (на высокой скорости) верхнего строения пути, мостов, оннелей и других сооружений, гарантируя безопасность передвижения на испытанных участках.

На рынке представлены приборы (к примеру, система SPACETEC TS3 фирмы SPACETEC Datengewinnung GmbH, система Z+F PROFILER 5010 фирмы Zoller+Fröhlich GmbH), использующие сканирующие устройства для подсветки профиля строения на основе лазерного дальномера. Эти системы имеют следующие недостатки:

- низкая скорость движения вагона;
- большие габариты и невысокая надежность сканирующего устройства.

В предлагаемой системе осуществляется формирование световой плоскости с угловым размером до 180° без использования сканирующего устройства, благодаря использованию ПП-лазера с протяженным светящимся телом размером $1 \times 6000 \text{ мкм}^2$ и объектива «Рыбий глаз». Регистрация осуществляется тремя высокоскоростными камерами, что позволяет регистрировать сечения профиля строений с интервалом менее 100 мм при скорости движения вагона до 140 км/ч. Таким образом, преимуществом разрабатываемой системы является высокая скорость движения вагона и отсутствие подвижных частей в конструкции ОЭС, что делает ее на порядок надежнее аналогов.

На рис.1 представлена схема расположения блоков ОЭС на вагоне.

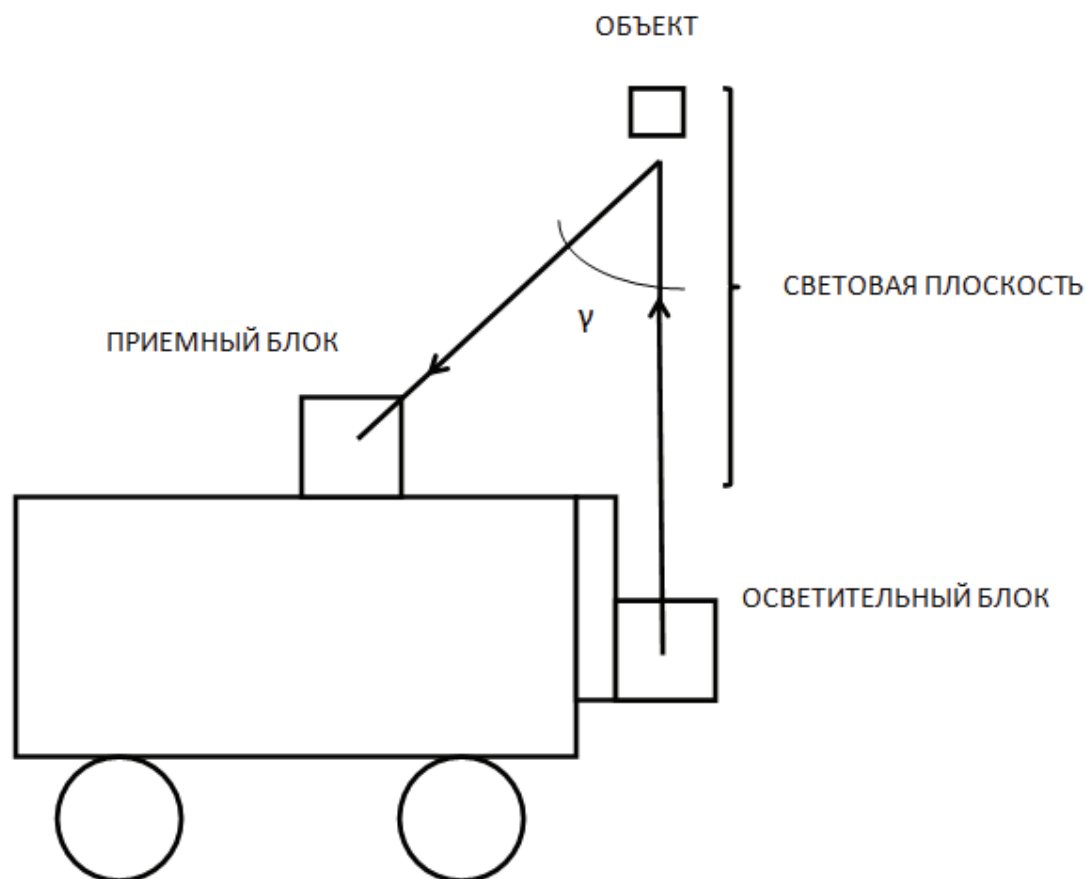


Рис.1 Схема компоновки блоков ОЭС на вагоне поезда

– Осветительный блок, формирующий световую плоскость, располагается на торце вагона на заданной высоте, причем световая плоскость ориентирована перпендикулярно железнодорожным путям.

– Приемный блок, включающий три высокоскоростных камеры, расположен на крыше вагона, причем одна камера расположена в центре вагона и две по бокам. Оси визирования камер направлены под углом к световой плоскости (под паралаксным углом γ).

Параметры приемника излучения обусловлены параметрами проверяемого объекта и необходимостью обеспечить малое расстояние между регистрируемыми сечениями. Современные быстродействующие камеры могут обеспечить частоту съятия кадров 500..1000 Гц при разрешении 800×600 и выше.

Параметры видеокамеры:

- КМОП матрица с разрешением 1280×1024 пикселей
- Размеры матрицы $a \times b = 17,82 \times 14,33$ мм
- Размер элемента матрицы $a_3 \times a_3 = 14 \times 14$ мкм

– Частота съятия кадров $f = 500$ Гц

При частоте съятия кадров равной 500 Гц и скорости подвижного состава – 140 км/ч, минимально достижимое расстояние между регистрируемыми сечениями равно:

$$S = \frac{1}{500} * \frac{140}{3,6} \approx 78 \text{ мм.}$$

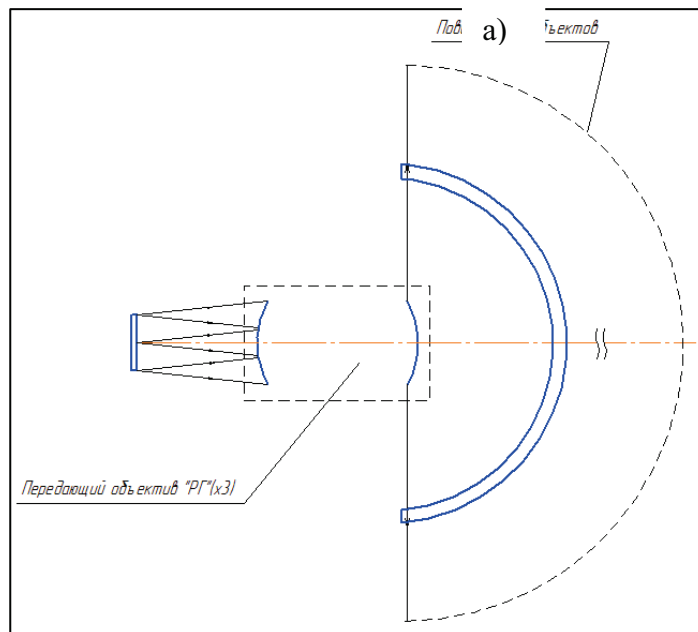
Поскольку угловое поле системы составляет 180° , то угловое поле каждой из трех камер составляет 60° .

Максимальная дальность регистрации объектов составляет 5 метров. Длина половины окружности около 15 метров. Таким образом, каждая камера регистрирует на матрице часть окружности, равную 5 метрам.

Фокусное расстояние объектива видеокамеры определяется размером матрицы и угловым размером объекта:

$$f_{\text{пр}}' = \frac{a}{2\omega} = \frac{17,82}{\pi/3} \approx 17 \text{ мм}$$

На рис.2 представлена функциональная схема ОЭС.



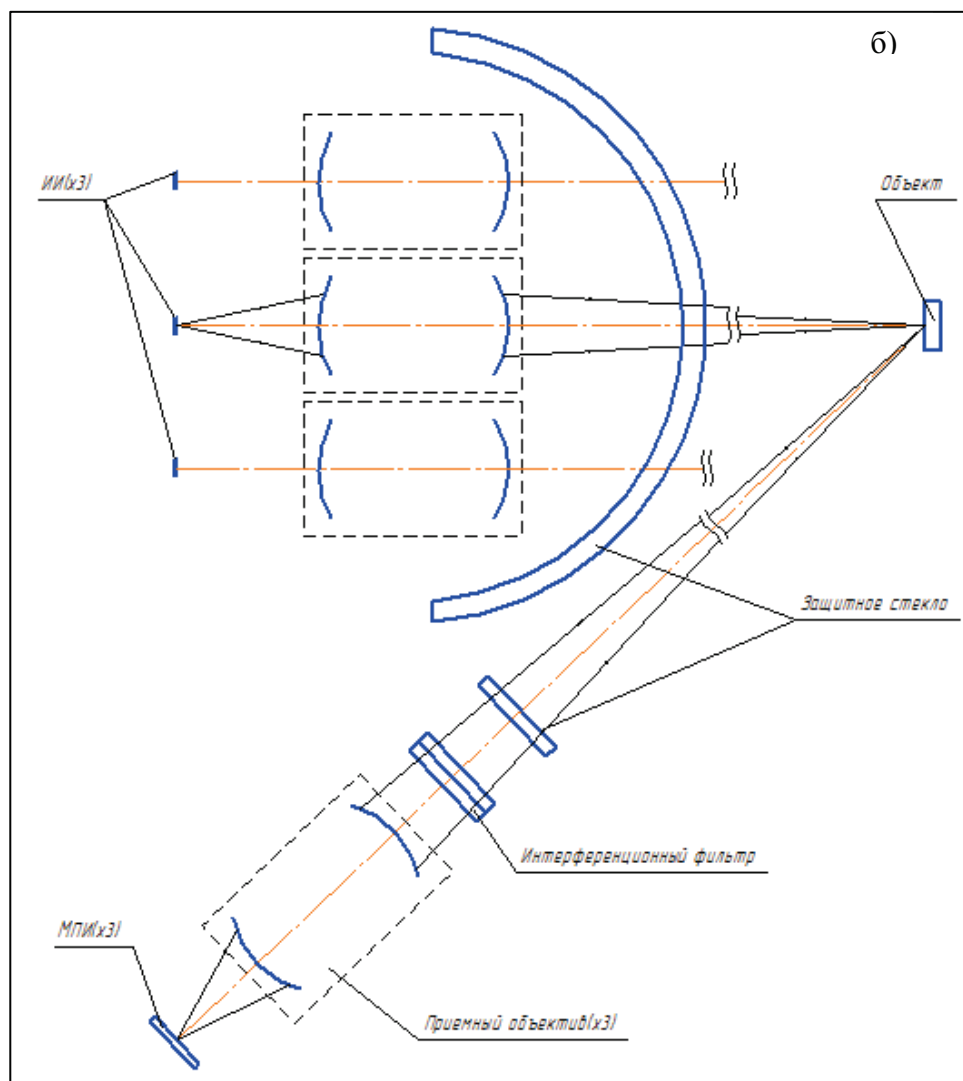


Рис. 2 Функциональная схема. а) Вид сбоку на осветительный блок; б) главный вид

Осветительный блок формирует световую плоскость с угловым размером 180° и включает импульсный ПП-лазер и объектив типа «Рыбий глаз».

Параметры выбранного лазера (АТС-Q40-6):

- длина волны излучения $\lambda = 0,8$ мкм;
- средняя мощность излучения $\Phi_{\text{ср}} = 40$ Вт;
- размеры светящейся поверхности $l_x \times l_y = 1 \times 6000$ мкм²;
- угловая расходимость $2\sigma_x \times 2\sigma_y = 40^\circ \times 10^\circ$;
- длительность импульса $\Delta t_{\text{ИМП}} = 0,2$ мс;
- частота импульсов $f_{\text{ИМП}} = 50$ Гц;
- рабочий ток $I_{\text{РАБ}} = 48$ А.

Поскольку частота лазеров низкая, то для обеспечения приемлемого расстояния между регистрируемыми сечениями требуется частота импульсов излучателя не менее 150

Гц, то есть необходимо использовать три синхронно излучающих осветителя и каждый со своим объективом.

Расстояние между сечениями в этом случае будет:

$$S = \frac{1}{150} * \frac{140}{3,6} \approx 260 \text{ мм.}$$

Фокусное расстояние объектива «Рыбий глаз» определяется по формуле:

$$f_{\text{ПЕР}}' = \frac{l_y}{2\omega} = \frac{6}{\pi} = 1,91 \text{ мм.}$$

Апертура объектива определяется угловой расходимостью в двух сечениях:

$$A_x = \frac{1}{2\sigma_x}; A_y = \frac{1}{2\sigma_y} \Rightarrow A_x = 0,72, A_y = 2,87;$$

Увеличение передающей оптической системы:

$$\beta_{\text{ПЕР}} = \frac{L}{f_{\text{ПЕР}}'} = \frac{5000}{1,91} = 2500\times.$$

Параметры световой полосы, образующейся при пересечении световой плоскости с объектом, удаленным на расстоянии 5 м:

Длина полосы около 15 м, а геометрическая ширина полосы 2.5 мм, с учетом aberrаций объектива ширина полосы увеличивается примерно до 10 мм.

Увеличение приемного объектива найдем по формуле:

$$\beta_{\text{ПР}} = \frac{L}{f_{\text{ПР}}'} = \frac{5000}{17} \approx 300\times.$$

Таким образом, ширина изображения полосы на матрице составляет 30 мкм, что соответствует двум элементам матрицы.

При этом погрешность измерения дальности до объекта:

$$\Delta L_{\text{Д}} = \frac{a_{\text{Э}} * L_{\text{Д}}^2}{f_{\text{ПР}}' * B} = \frac{14 * 10^{-3} * 25 * 10^6}{17 * 10^3} \approx 20 \text{ мм.}$$

Энергетический расчет.

Площадь полосы $A_{\text{П}} = l'_y \cdot l'_x = 0,236 \text{ м}^2$.

При средней мощности лазера $\Phi_{\text{ср}} = 40 \text{ Вт}$ освещенность полосы составляет

$$E_{\text{П}} = \frac{\Phi_{\text{ср}}}{A_{\text{П}}} \approx 170 \frac{\text{Вт}}{\text{м}^2}.$$

Освещенность, создаваемая солнечным излучением $E_c = 300..600 \frac{\text{Вт}}{\text{м}^2}$, т.е. примерно в 1,5...3 раза больше лазерной освещенности. Но на длине волны излучения лазера освещенность солнечного излучения много меньше.

Можно осуществить фильтрацию солнечного излучения с помощью интерференционного светофильтра, рассчитанного на длину волны излучения лазера.

Рассчитаем коэффициент использования солнечного излучения интерференционным фильтром при диапазоне пропускания $\lambda = 0,77..0,82$ мкм.

$$\eta_{\text{иф}} = \frac{\int_{0,77}^{0,82} M(\lambda; T_c) d\lambda}{\int_{0,4}^{1,16} M(\lambda; T_c) d\lambda}$$

Температура солнца на поверхности земли $T_c = 5600$ К.

В итоге получаем:

$$\eta_{\text{иф}} = 0,013$$

Следовательно, эффективная освещенность от солнечного излучения уменьшится до:

$$E_{c,\text{иф}} = E_c \eta_{\text{иф}} = (300..600) \cdot 0,013 = 3,9 \div 7,8 \frac{\text{Вт}}{\text{м}^2}$$

Отношение «сигнал/фон» составит:

$$\mu_{c/\phi} = \frac{E_{\text{п}}}{E_{c,\text{иф}}} \approx 21,8 \div 43,6$$

Заключение

Таким образом, разработанная ОЭС позволяет регистрировать сечения профиля объектов с частотой 150 Гц, что обеспечивает расстояние между сечениями около 250 мм с погрешностью определения дальности около 20 мм.

Список литературы

1. «ОБЪЕКТИВ "РЫБИЙ ГЛАЗ" ДЛЯ ВИДЕОКАМЕРЫ»
2. Патент RU 2347251 С2, приоритет 2006 г., опубликован 20.02.09. Авторы: Колочкин Василий Яковлевич (RU), Тимашова Лариса Николаевна (RU), Колобов Кирилл Викторович (RU), Князев Алексей Александрович (RU).