

# Лазерная цифровая система измерения габаритов сооружений на железных дорогах

Андрей Бондаренко, Игорь Докучаев, Михаил Князев,  
Юрий Коноплянников, Юрий Лазаренко,  
Борис Прилепский (Москва)

В статье рассматривается цифровая лазерная система для автоматизированного измерения приближения габаритов сооружений железных дорог. Применение этой системы позволило проводить измерения габаритов, не снижая пропускной способности железных дорог.

## ВВЕДЕНИЕ

Для повышения пропускной способности Российских железных дорог встала необходимость в двухъярусных контейнерных перевозках. Были разработаны специальные железнодорожные контейнерные грузовые вагоны, которые позволяют перевозить контейнеры в два яруса. При этом верхний габарит немного превышает стандартный. В связи с этим встала необходимость прове-

дения работ для выяснения габаритов инженерных сооружений и высоты контактной сети на железных дорогах.

Учитывая огромную протяжённость российских железных дорог и наличие на них большого разнообразия инженерных сооружений, построенных в различные годы, иногда полном отсутствии на них документации, ставится задача автоматизированного измерения габаритов инженерных сооружений относительно железнодорожного полотна без снижения пропускной способности. При ручном методе измерений, например, моста, на работу может уйти не один месяц, при этом существует человеческий фактор, когда из-за одной ошибки может нарушиться вся картина измерений. В этой связи и возникла идея разработки системы автоматизированного измерения габаритов.

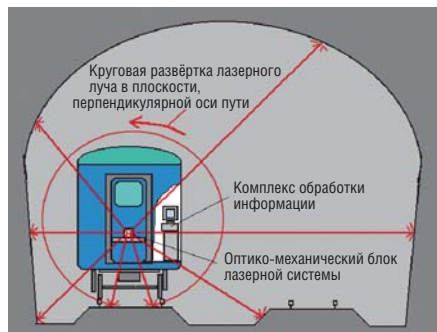


Рис. 1. Схема сканирования пространства и построения совокупности профилей обмеряемого объекта

## ТЕХНИЧЕСКИЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ

Лазерная система для измерения габаритов сооружений предназначена для оперативного и автоматизированного измерения габаритов приближения сооружений и оборудования в зоне движения подвижного состава железных дорог со скоростями до 20 км/ч. Объектами измерений могут быть туннели, мосты, путепроводы, опоры линий электропередач и железнодорожные платформы. Результаты измерений используются при эксплуатации же-

лезных дорог и перевозках негабаритных грузов.

Методология измерений и идея системы являются результатом совместной работы ФГУП ВНИИЖТ и ГУП «НПО Астрофизика». В создании образца системы вместе с указанными двумя предприятиями принимало участие НПФ ООО «Растр технологии».

Основные технические характеристики системы:

- скорость движения вагона-лаборатории – до 20 км/ч;
- частота кругового сканирования – 33 Гц;
- угловое разрешение – 0,9 град;
- диапазон измеряемых расстояний – 2...6 м;
- основная погрешность измерения расстояний в диапазоне от 4 до 6 м – не более 0,5%.

## ПРИНЦИП РАБОТЫ

Измерение габаритов осуществляется путем измерения расстояния до различных точек внутреннего очертания обмеряемых сооружений. Фактически габаритомер представляет собой внутрибазовый дальномер с лазерной подсветкой и сканированием пространства. Сканирование осуществляется за счёт кругового вращения оптической оси дальномера в плоскости, перпендикулярной направлению движения вагона при его движении (см. рис. 1) [1, 2, 3].

За один оборот оптической оси дальномера осуществляется измерение дальности примерно в четырёхстах точках пространства. Эта совокупность точек составляет одно измеренное поперечное сечение, а совокупность сечений составляет обмеряемый объект. Количество сечений в одном объекте может быть произвольным [4].

Функциональная схема габаритомера показана на рис. 2. Лазерный излучатель 1 выполнен на базе лазерного диода со средней мощностью излучения 0,5 Вт и рабочей длиной волны  $\lambda = 805$  нм.

Излучение лазерного диода направляется на объект вращающимся зеркалом 2. Привод 3 обеспечивает вращение зеркала 2 с рабочей частотой  $1980 \pm 0,75$  об/мин и формирует информацию о его текущем угловом положении.

Отражённый от поверхности объекта 4 оптический сигнал, проходя через клинья 5 и щелевую диафрагму 6, разделяется на две части и попадает на объективы 7. Далее оптический сигнал проходит через интерференционный фильтр 8, цилиндрическую линзу 9 и попадает на поверхность фотоприёмника 10.

Объектив 7 формирует на фотоприёмнике две световые отметки, расстояние между которыми (величина диспаратности) меняется при изменениях расстояния до объекта. По умолчанию объектив 7 сфокусирован на базовую плоскость, находящуюся в промежутке между минимальным и максимальным рабочим расстоянием дальномера. Поэтому изображения световых отметок от точек обмеряемого объекта, расстояние до которых больше или меньше базового, будут расфокусированы. Для их дополнительной фокусировки применяется цилиндрическая линза 9. Пара клиньев 5 обеспечивает дополнительную пространственную разводку световых потоков. Углы отклонения клиньев выбираются таким образом, чтобы для всего рабочего диапазона расстояний изображения световых меток не сливались и не менялись местами. Применение интерференционного фильтра 8 и высокая чувствительность фотоприёмника обеспечивают нормальную работу прибора в любое время суток.

Приведённая оптическая схема позволяет получить высокие точности измерения за счёт:

- применения двухканальной схемы измерения;
- единой конструкции каналов дальномера, использования единых оптических элементов;
- снижения влияния погрешности юстировки оптических элементов.

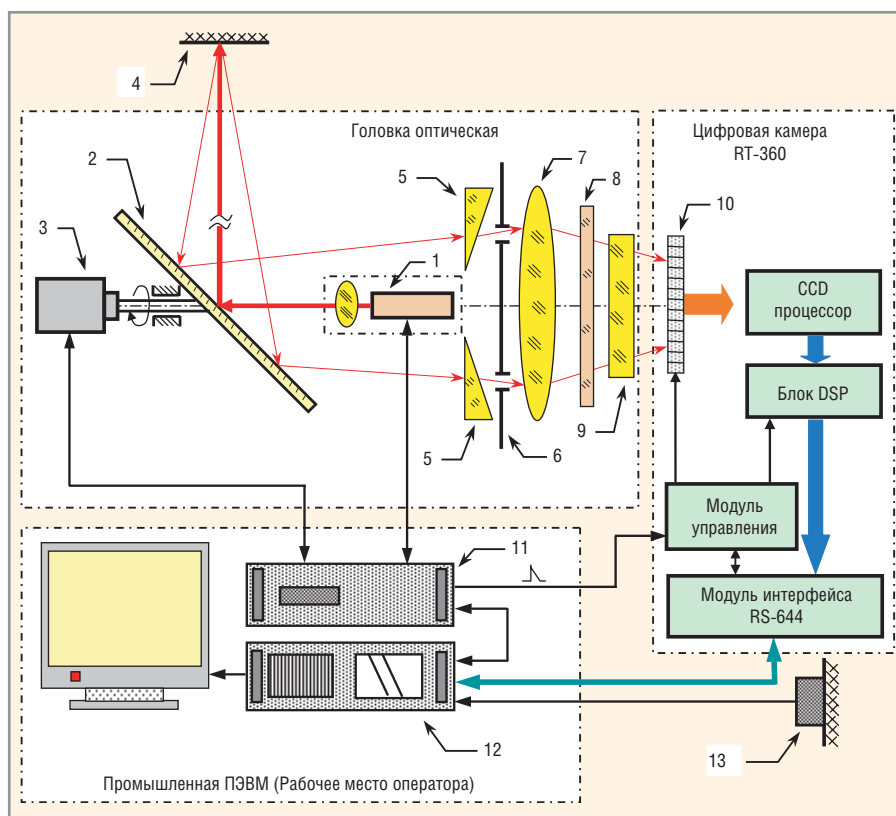


Рис. 2. Функциональная схема габаритомера. Цифрами на рисунке показаны следующие функциональные узлы и блоки:

- 1 – полупроводниковый лазер;
- 2 – вращающееся зеркало;
- 3 – привод зеркала;
- 4 – объект сканирования;
- 5 – оптические клинья;
- 6 – диафрагма;
- 7 – объектив;

- 8 – интерференционный светофильтр;
- 9 – цилиндрическая линза;
- 10 – фотоприёмник;
- 11 – блок управления и синхронизации;
- 12 – ПЭВМ в промышленном исполнении;
- 13 – блок датчиков динамических перемещений вагона и габаритомера

### ЦИФРОВАЯ КАМЕРА

Для регистрации оптического сигнала используется цифровая камера RT-360, разработанная в научно-производственной фирме ООО «Растртехнологии». В качестве фотоприёмника в камере использована линейка фотодиодов.

Линейка содержит 1024 элемента с размерами пикселя  $13 \times 500$  мкм. При этом каждый канал дальномера использует по 1024 элементов линейки. Большой размер (500 мкм) элемента по одной стороне позволяет в значительной степени снизить влияние неравномерности освещённости световых отметок и ошибок юстировки на точность измерения. Небольшие размеры приёмного элемента в направлении базы дальномера обеспечивают высокую точность измерения диспаратности.

Сигнал с линейки поступает на CCD-процессор и оцифровывается им с использованием механизма двойной коррелированной выборки.

Частота оцифровки видеосигнала выбирается программно и имеет максимальное значение 25 МГц при разрядности оцифровки 12 бит. DSP-блок камеры осуществляет дополнительную обработку – цифровую фильтрацию и сглаживание сигнала в реальном времени. Передача информации с камеры осуществляется кадрами. Число элементов в каждой строке кадра соответствует количеству элементов в фотодиодной линейке и равно 1024. Количество строк в кадре определяется количеством точек в сечении и, соответственно, равно примерно 400. Таким образом, один кадр несёт информацию об одном сечении. Начало кадра привязано к стробу синхронизации, который формируется блоком управления и синхронизации 11 и связан с текущим положением зеркала 2.

Использование современной элементной базы позволило реализовать фотоприёмник, CCD-процессор, DSP-обработку и интерфейс цифро-

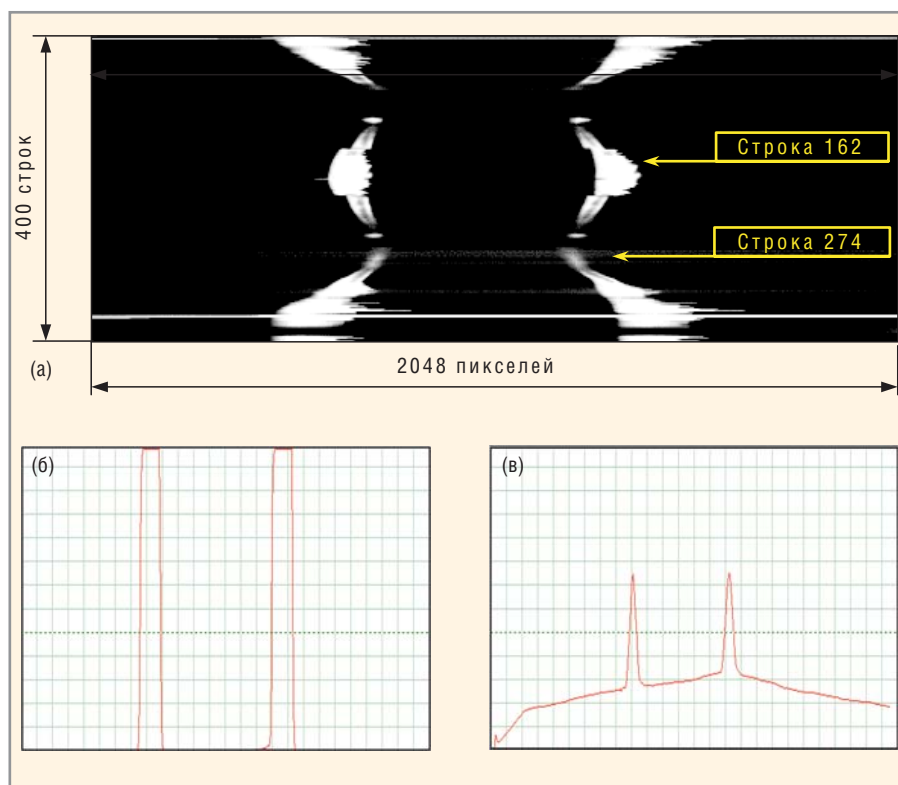


Рис 3. (а) Пример изображения, формируемого цифровой камерой, для одного измеренного сечения; (б) распределение уровня сигнала в строке 162; (в) распределение уровня сигнала в строке 274



Рис. 4. Фотография оптико-механического блока габаритомера

вой камеры на двух небольших четырехслойных платах размером  $R = 35 \text{ мм}$  и  $80 \times 80 \text{ мм}$  [6].

Передача оцифрованного кадра и управление цифровой камерой осуществляется через цифровой интерфейс Channel Link (RS-644) с максимальной пропускной способностью до 1,5 Гбит/с. Приём оцифрованного изображения и пересылку его в память ПЭВМ 12 осуществляет контроллер управления цифровым интерфейсом RT-644, устанавливаемый в PCI слот ПЭВМ. Контроллер состоит из приёмопередатчиков, буферной памяти SDRAM 16 Мб и PCI-интерфейса версии 2.1, который работает в режиме Master DMA, что обеспечивает среднюю скорость пересылки данных до 60 Мб/с без участия централь-

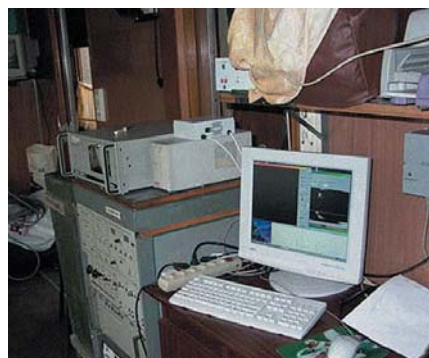


Рис. 5. Фотография рабочего места оператора

ного процессора.

Хочется особо отметить, что блоки цифровой камеры, используемой в габаритомере, – блок CCD процессора и контроллер интерфейса – являются унифицированными и путём замены платы с ПЗС-матрицей или линейкой могут использоваться почти с любым сенсором, имеющим 1 или 2 выхода. Для этого требуется замена только одной платы с сенсором и, возможно, источника питания. Эти же решения используются, например, в цифровых камерах RT-1000 на ПЗС-матрице  $1024 \times 1024$  и RT-6000 с матрицей  $3072 \times 2048$  элементов. Наличие у цифровых камер DSP-блока обработки реального времени позволяет значительно расширить область их применения. Сейчас реализованы алго-

ритмы линейной и рекурсивной фильтрации, автоматические настройки по доминанте, субтракция и т.п. [6, 8].

На рис. 3а показан пример изображения, сформированного цифровой камерой, при измерении одного сечения железнодорожного туннеля. На рис. 3б и рис. 3в показаны графики распределения уровня сигнала для двух разных строк кадра [7].

Для учёта малых поперечных перемещений вагона, возникающих при движении, в состав габаритомера введён блок датчиков 13. Коды, соответствующие поперечным колебаниям вагона в вертикальной и горизонтальной плоскостях, поступают в компьютер совместно с информацией о дальности и пересчитываются в соответствующие поправки. Эти поправки учитываются алгоритмом обработки при построении сечений.

Программно-алгоритмический комплекс, базирующийся на ПЭВМ в промышленном исполнении на шасси IPC-610, решает следующие основные задачи:

- оперативное управление работой всех устройств в целом;
- определение относительной дальности до точки подсвета в полярной системе координат измерителя;
- формирование сечений с учётом кодов поперечных перемещений вагона, сбор и хранение получаемой при движении информации;
- отображение получаемой информации на экране дисплея компьютера;
- формирование калибровочной характеристики и периодическая её проверка.

### ПОЛУЧЕННЫЕ РЕЗУЛЬТАТЫ

В 2003–2004 гг. проведены успешные комплексные испытания опытного образца системы в реальных условиях железных дорог РФ. Испытания проводились в составе вагона-лаборатории № 018-72092 отделения комплексных испытаний ФГУП ВНИИЖТ [4, 5].

На рис. 4 показана фотография образца оптико-механического блока габаритомера, установленного в районе сцепки вагонов. На рис. 5 приведена фотография рабочего места оператора в вагоне-лаборатории.

В процессе испытаний системы зарегистрированы и измерены более

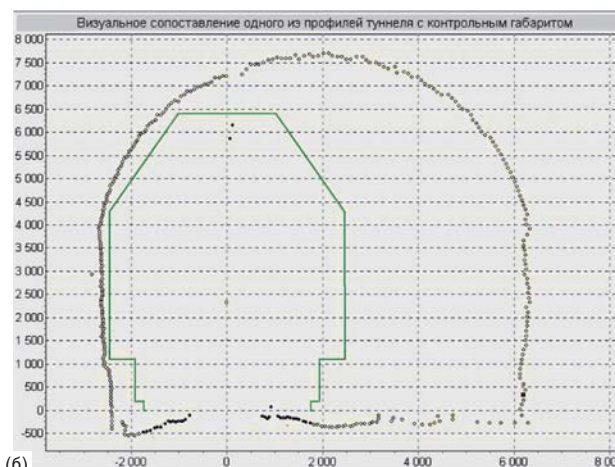
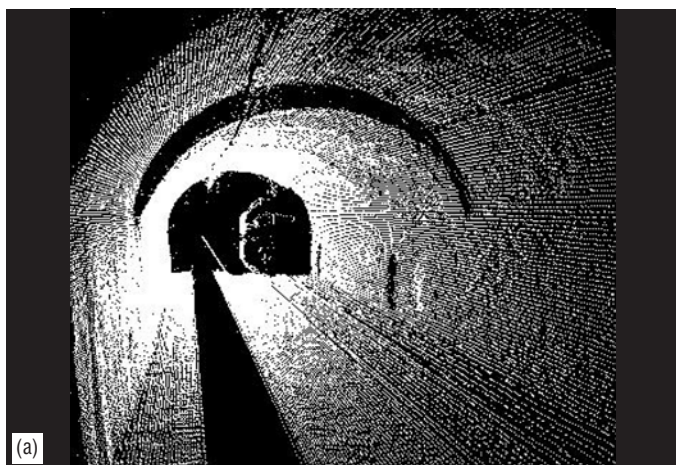


Рис. 6. (а) Трёхмерное представление туннеля; (б) одно из сечений туннеля

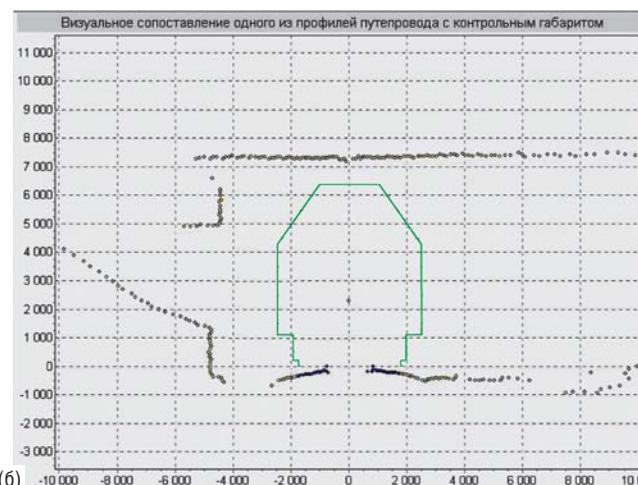
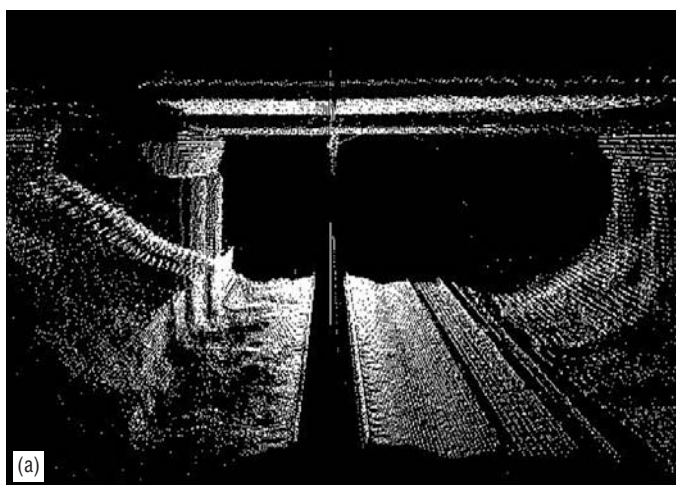


Рис. 7. (а) Трёхмерное представление путепровода; (б) одно из измеренных сечений путепровода

600 различных объектов. На рис. 6а показано трёхмерное представление туннеля в виде совокупности измеренных сечений, а на рис. 6б – одно из этих сечений. На рис. 7а приведено трёхмерное представление путепровода, а на рис. 7б показано одно из его сечений.

Анализ результатов показал, что система полностью соответствует своим техническим характеристикам, а потенциал измерения дальности может быть повышен при сохранении требуемой точности. Испытания показали потенциальную возможность увеличения диапазона измеряемых расстояний в пределах от 1,5 до 9 м, а также повышения точности измерения за счёт совершенствования алгоритмов обработки результатов измерений [5].

Проведение работ по измерению габаритов инфраструктуры железных дорог является особенно актуальной при внедрении под руководством ГУП ВНИИЖТ на железных дорогах России двухъярусных кон-

тейнерных грузовых вагонов, резко повышающих пропускную способность основных железных дорог РФ. Внедрение опытных образцов габаритомера на железных дорогах РФ позволит полностью автоматизировать процесс измерения габаритов, не снижая при этом пропускную способность железных дорог.

### ЛИТЕРАТУРА

1. Патент РФ № 2091710 от 27.09.1997. «Способ построения профилей трёхмерных объектов и устройство для его осуществления».
2. Патент РФ № 2091711 от 27.09.1997. «Способ измерения дальности и устройство для его осуществления».
3. Коноплянников Ю.К., Прилепский Б.В. Лазерно-оптические системы ближней дальности. Симп. «Лазерные технологии» на 5-й Международной специализированной выставке «Лазеры: инновации и консалтинг в России». Москва, 2002, июль.
4. Коноплянников Ю.К., Казаков А.С., Лазаренко Ю.М., Прилепский Б.В., Пузырев-

ский И.И. Лазерные системы ближней дальности. Симп. «Лазерные технологии» на 4-м Международном форуме «Высокие технологии XXI века – ВТ XXI-2003». Москва, 2003, апрель.

5. Коноплянников Ю.К., Казаков А.С., Карпов В.П., Лазаренко Ю.М., Прилепский Б.В., Пузыревский И.И. Лазерная система для измерения габаритов сооружений и оборудования на железнодорожном транспорте и метрополитене. Международная конф. V Всероссийского форума «Высокие технологии XXI века – ВТ XXI-2004».
6. Техническая документация и руководство пользователя на цифровую камеру RT-360. ООО «Растр Технолджи». www.rastr.net.
7. Описание программы обработки лазерных отметок RT360Grabber. ООО «Растр Технолджи». www.rastr.net.
8. Бондаренко А.В. RT-850 – мультиформатный видеопроцессор реального времени. 3-я Международная конф. и выставка «Цифровая обработка сигналов и её применение». Москва, 2000, 29 ноября – 1 декабря.

