

# Лазерная цифровая измерительная система габаритов сооружений на железных дорогах

**А.В. Бондаренко, И.В. Докучаев, М.Г. Князев, Ю.К. Коноплянников,  
Ю.М. Лазаренко, Б.В. Прилепский**

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

Учитывая огромную протяженность российских железных дорог и наличие на них большого разнообразия инженерных сооружений, построенных в различные годы, иногда полное отсутствие на них документации, ставится задача автоматизированного измерения габаритов инженерных сооружений относительно железнодорожного полотна, не снижая пропускной способности. При ручном методе измерений, например, моста может уйти не один месяц, плюс к этому прибавить человеческий фактор, когда из-за одной ошибки может нарушиться вся картина измерений. В этой связи и возникла идея разработки системы автоматизированного измерения габаритов.

## 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/час. Объектами измерений могут быть туннели,

Рассматривается цифровая лазерная система для автоматизированного измерения габаритов сооружений железных дорог, не снижая их пропускной способности. Приводятся технические характеристики и принцип работы системы. Показано, что применение DSP-технологий позволяет значительно расширить область применения лазерных измерительных систем данного класса.

мосты, путепроводы, опоры линий электропередач и железнодорожные платформы. Результаты измерений используются при эксплуатации железных 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 технологи».

Основные технические характеристики системы:

- скорость движения вагона-лаборатории до 20 км/ч;
- частота кругового сканирования 33 Гц;
- угловое разрешение 0.9 градусов;
- диапазон измеряемых расстояний 2...6 м;
- основная погрешность измерения расстояний в диапазоне от 4 м 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 счет кругового вращения оптической оси дальномера в плоскости, перпендикулярной направлению движения вагона, и одновременного движения вагона (см. рис. 1) [1], [2], [3].

За один оборот оптической оси дальномера осуществляется измерение дальности в примерно четырехстах (400) точках пространства. Эта совокупность то-

чек 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  $1980\pm0.75$  об/мин и формирует информацию о его текущем угловом положении.

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

Объектив 7 формирует на фотоприемнике две световые отметки, расстояние между которыми (величина диспаритета) 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 обеспечивают 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 фотоприемника обеспечивают нормальную работу прибора в любое время суток.

Приведенная оптическая схема позволяет получить высокие точности измерения за счет:

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

## Цифровая камера

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

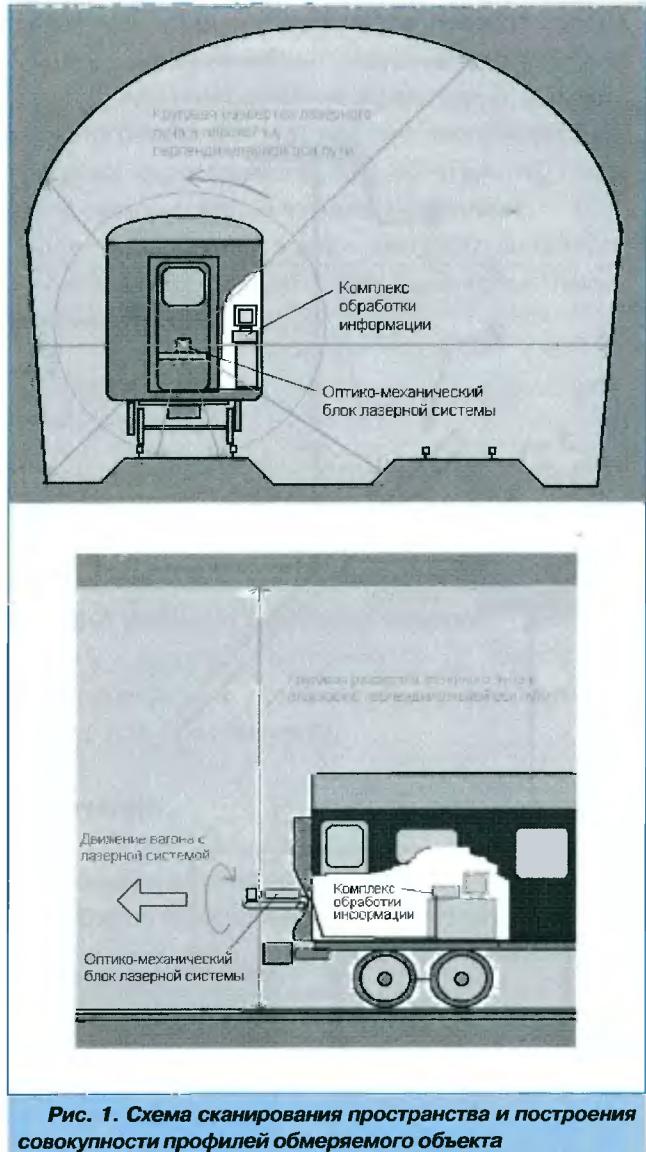
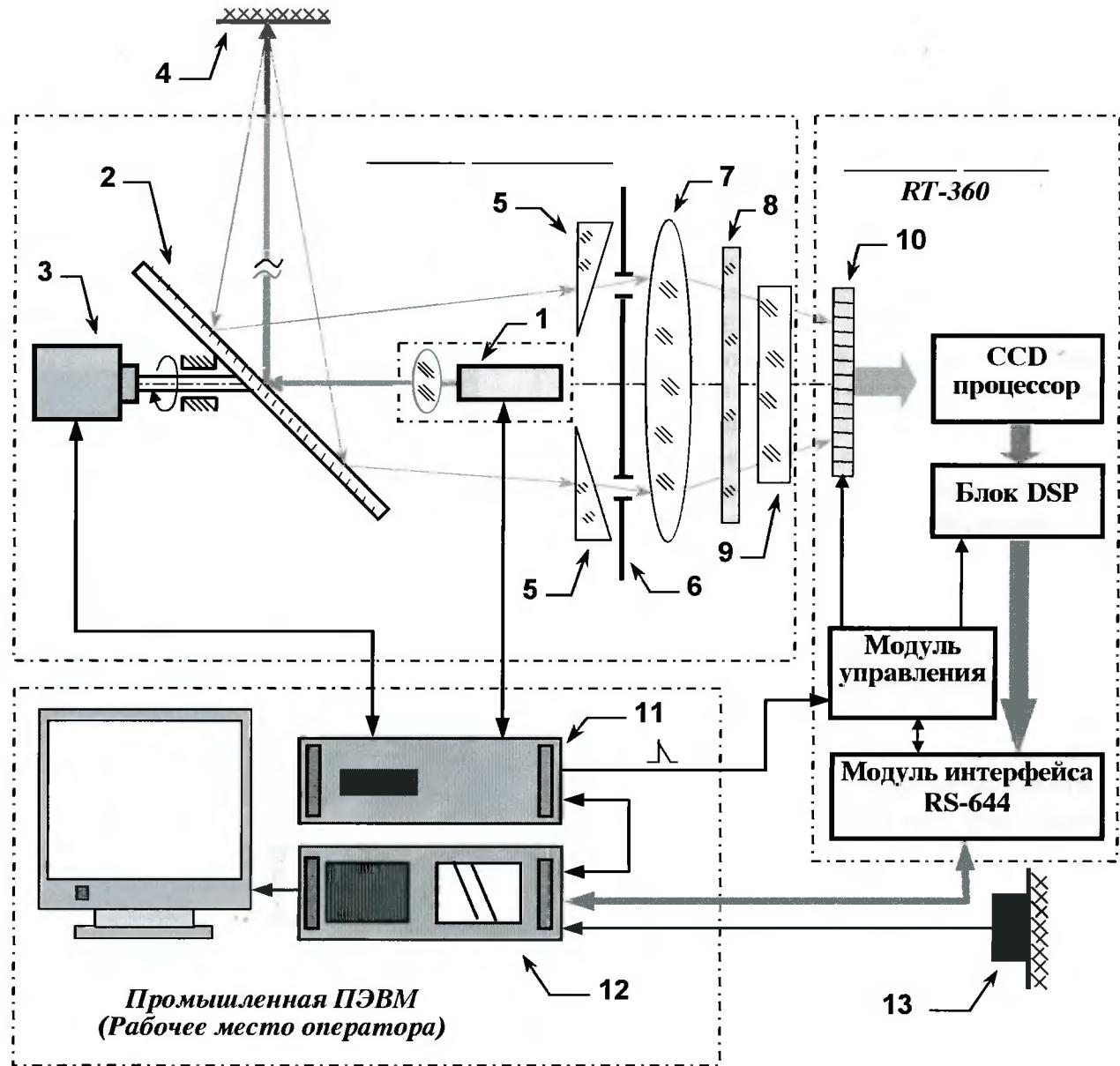


Рис. 1. Схема сканирования пространства и построения совокупности профилей обмеряемого объекта

Линейка содержит 1024 элемента с размерами пикселя 13 мкм x 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 освещенности световых отметок и ошибок юстировки на точность измерения. Небольшие размеры приемного элемента в направлении базы дальномера обеспечивают высокую точность измерения диспаритета.

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 коли-



**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 – фотоприемник;

11 – блок управления и синхронизации;

12 – ПЭВМ в промышленном исполнении;

13 – блок датчиков динамических перемещений вагона и габаритомера.

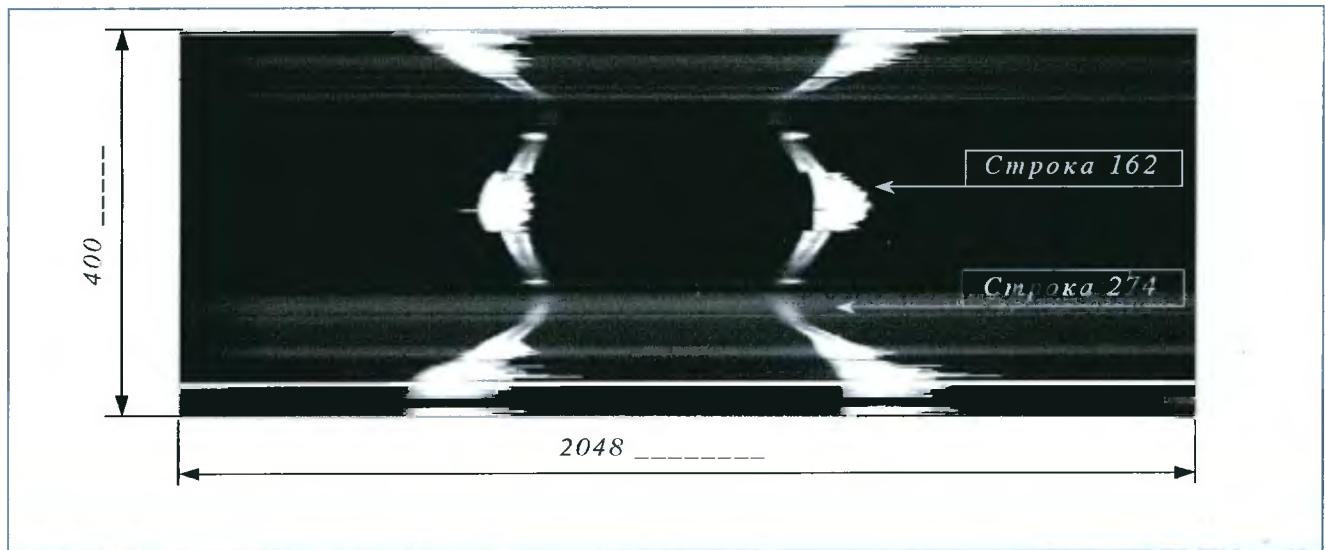


Рис. 3а. Пример изображения, формируемого цифровой камерой для одного измеренного сечения

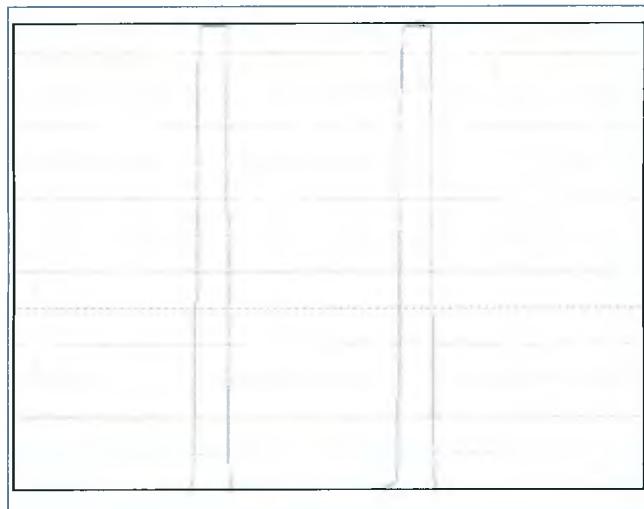


Рис. 3б. Распределение уровня сигнала в строке 162

чество 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 несет 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 фотоприемник, CCD-процессор, DSP-обработку и интерфейс цифровой камеры на двух небольших четырехслойных платах размером R=35 и 80 x 80 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. Прием оцифрованного изображения и пересылку его в память ПЭВМ 12 осуществляет контроллер управления цифровым интерфейсом

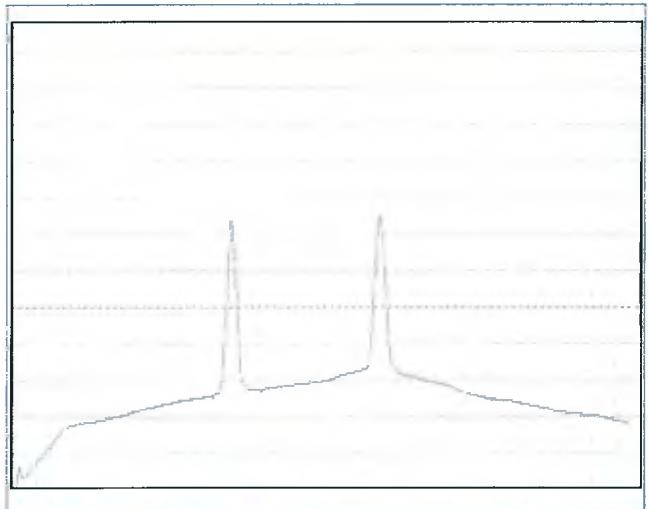


Рис. 3в. Распределение уровня сигнала в строке 274

*RT-644*, устанавливаемый в PCI-слот ПЭВМ. Контроллер состоит из приемопередатчиков, буферной памяти *SDRAM* 16 Мбайт и PCI интерфейса версии 2.1, который работает в режиме *Master DMA*, что обеспечивает среднюю скорость пересылки данных до 60 Мбайт/с без участия центрального процессора.

Следует особо отметить, что блоки цифровой камеры, используемой в габаритомере, – блок CCD-процессора и контроллер интерфейса, являются унифицированными и путем 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 x 1024 и *RT-6000* с матрицей 3072 x 2048 элементов. Наличие у цифровых камер *DSP*-блока обработки реального времени позволяет значительно расширить область их при-

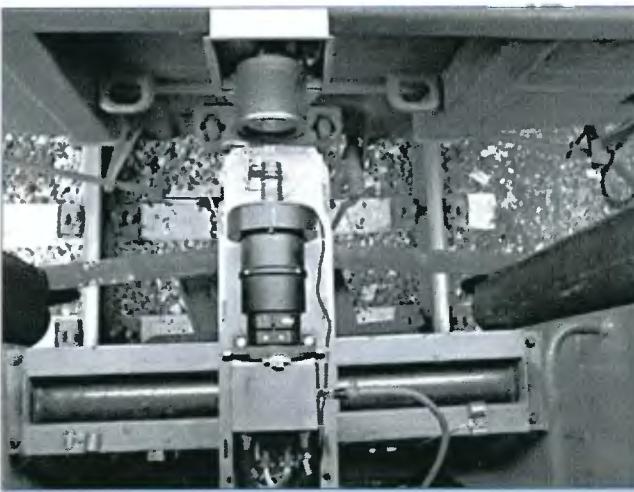


Рис. 4. Фотография оптико-механического блока габаритомера

менения. Сейчас реализованы алгоритмы 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 учета малых поперечных перемещений вагона, возникающих при движении, в состав габаритомера введен 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



Рис. 5. Фотография рабочего места оператора

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 учетом кодов поперечных перемещений вагона, сбор и хранение получаемой при движении информации;
- отображение получаемой информации на экране дисплея компьютера;
- формирование калибровочной характеристики и периодическая ее проверка.

## Полученные результаты

В 2003–2004 гг. проведены успешные комплексные испытания в реальных условиях железных дорог РФ опытного образца системы. Испытания проводились в

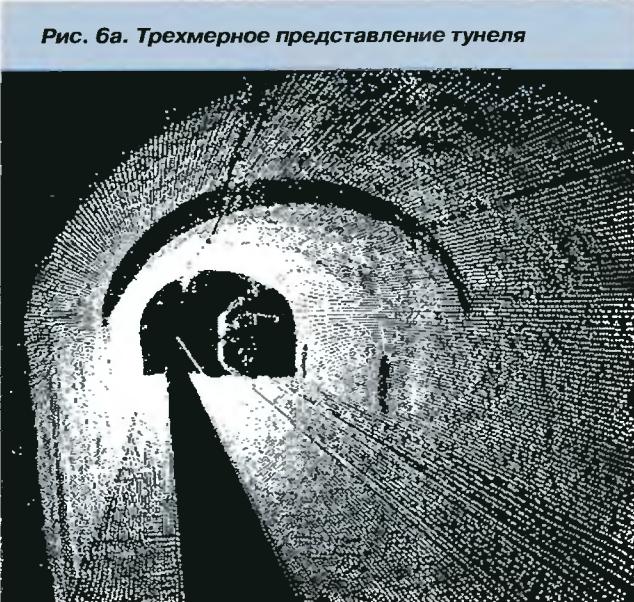


Рис. 6а. Трехмерное представление туннеля

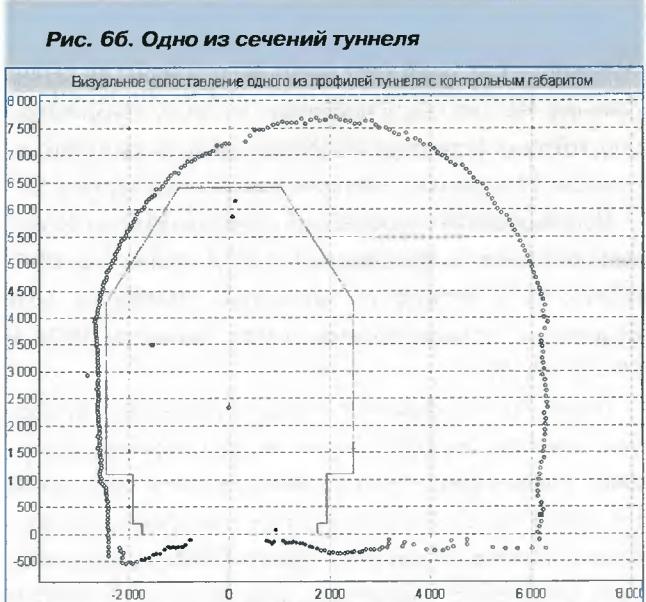


Рис. 6б. Одно из сечений туннеля

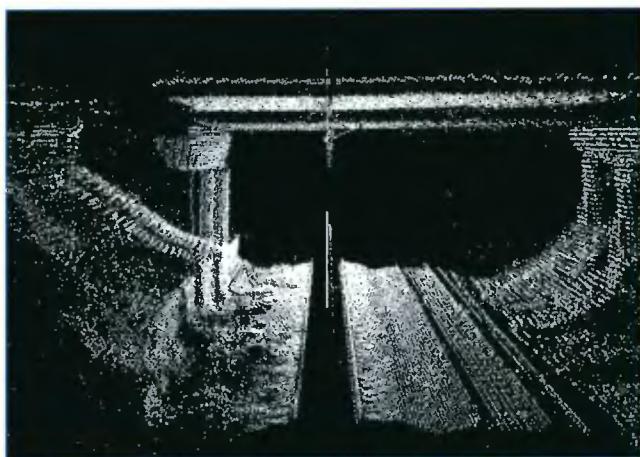


Рис. 7а. Трехмерное представление путепровода

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, а на рис. 5 приведена фотография рабочего места оператора в вагоне-лаборатории.

В процессе испытаний системы зарегистрированы и измерены более 600 различных объектов. На рис. 6а показано трехмерное представление туннеля в виде совокупности измеренных сечений, а на рис. 6б одно из этих сечений. На рис. 7а приведено трехмерное представление путепровода, а на рис. 7б показано одно из его сечений.

Анализ результатов позволяет сделать вывод, что система полностью соответствует своим техническим характеристикам, а потенциал измерения дальности мо-

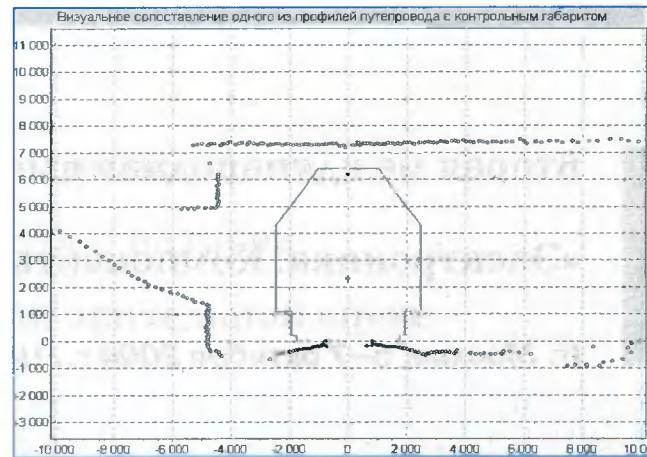


Рис. 7б. Одно из измеренных сечений путепровода

жет быть повышен при сохранении требуемой точности. Испытания показали потенциальную возможность увеличения диапазона измеряемых расстояний в пределах от 1.5 м до 9 м, а также повышения точности измерения за счет совершенствования алгоритмов обработки результатов измерений [5].

Проведение работ по измерению и мониторингу габаритов инфраструктуры железных дорог является особенно актуальным при внедрении под руководством ГУП ВНИИЖТ на железных дорогах России двухъярусных контейнерных 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 трехмерных 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. Доклад «Лазерно-оптические системы ближней дальномерии» на симпозиуме «Лазерные технологии» на 5-й Международной специализированной выставке «Лазеры: инновации и консалтинг в России», июль, 2002 г., Москва.
4. Коноплянников Ю.К., Казаков А.С., Лазаренко Ю.М., Прилепский Б.В., Пузыревский И.И. Доклад «Лазерные системы ближней дальномерии» на симпозиуме «Лазерные технологии» на 4-м Международном форуме «Высокие технологии XXI века» – «ВТ XXI-2003», апрель, 2003 г., Москва.
5. Коноплянников Ю.К., Казаков А.С. Карпов В.П., Лазаренко Ю.М., Прилепский Б.В., Пузыревский И.И. Доклад «Лазерная система для измерения габаритов сооружений и оборудования на железнодорожном транспорте и метрополитене». Международная конференция V Всероссийского форума «Высокие технологии XXI века – ВТ – XXI – 2004».
6. Техническая документация и руководство пользователя на цифровую камеру RT-360. ООО «Растр Технологии». 2003. Москва. [www.rastr.net](http://www.rastr.net).
7. Описание программы обработки лазерных отмечток RT360Grabber. ООО «Растр Технологии». 2003 г. Москва. [www.rastr.net](http://www.rastr.net).
8. Бондаренко А.В. «RT-850 – мультиформатный видеопроцессор реального времени». Доклад на 3-й Международной конференции и выставке «Цифровая обработка сигналов и ее применение». 29 ноября – 1 декабря 2000 г. Москва.