

## МЕТОДЫ И АЛГОРИТМЫ ЭКСПЕРТИЗЫ ОБЪЕКТОВ ТРАНСПОРТНОЙ ИНФРАСТРУКТУРЫ

Михеева Т.И.<sup>1</sup>, Ключников В.А.<sup>1</sup>, Головнин О.К.<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Самарский государственный аэрокосмический университет имени академика С.П. Королева (национальный исследовательский университет), Самара, Россия (443086, Самара, Московское шоссе, 34), e-mail: Klyuchnikov.Vladimir@gmail.com

В статье описывается разработанный метод экспертизы объектов транспортной инфраструктуры, согласно которому предусматривается выполнение двух основных этапов работ. Первый этап – полевые работы по сбору данных об объектах транспортной инфраструктуры с помощью мобильной лаборатории, осуществляющей видео съемку дороги и привязку объектов посредством системы GPS. Второй этап – камеральные работы, выполняемые специалистами в области организации дорожного движения, при проведении которых используется система учета геометрических параметров проезжей части, реализующая разработанные алгоритмы вычисления радиусов закруглений автомобильной дороги и вычисления расстояния видимости. Система является составной частью программно-аппаратного комплекса исследования автомобильных дорог, инвентаризации и паспортизации, который обеспечивает сбор, хранение, обработку и использование информации об объектах транспортной инфраструктуры. Применение разработанного метода, алгоритмов и основного на них программно-аппаратного комплекса позволяет сократить трудоемкость и повысить качество разработки проектов организации дорожного движения, что приводит к увеличению безопасности движения транспортных средств и пешеходов.

Ключевые слова: алгоритм, экспертиза, транспортная инфраструктура, радиус закругления, расстояние видимости, инвентаризация, паспортизация, организация дорожного движения.

## METHODS AND PROCEDURES OF TRANSPORT INFRASTRUCTURE SURVEY

Mikheeva T.I.<sup>1</sup>, Klyuchnikov V.A.<sup>1</sup>, Golovnin O.K.<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Samara State Aerospace University, Samara, Russia (443086, Samara, Moskovskoe shosse, 34), e-mail: Klyuchnikov.Vladimir@gmail.com

Article describes the developed method of transport infrastructure survey, which provides conduction of two main stages of operations. The first stage is field operations to acquisition of data on transport infrastructure carried out using the mobile laboratory, which provides video filming of the road and binding of objects via GPS system. The second stage is office operations performed by experts in the field of traffic management during which the system of the accounting of geometrical parameters of the carriageway implementing the developed algorithms of road radiuses of curves calculation and distance of visibility computation is used. The system is a component of a hardware and software package of highways survey, inventory and certification, which provides acquisition, storage, processing and utilization of the information on transport infrastructure. Application of the developed method, algorithms and the hardware-software package based on them allows reducing labour intensity, to increase quality of the traffic management plans development that leads to increasing of traffic safety of vehicles and pedestrians.

Keywords: algorithm, survey, transport infrastructure, radius of curves, distance of visibility, inventory, certification, traffic management.

Автомобильные дороги являются важнейшей составной частью транспортной системы России. От уровня развития сети автомобильных дорог во многом зависит достижение устойчивого экономического роста, повышение конкурентоспособности отечественных производителей и улучшение качества жизни населения, укрепление национальной безопасности государства и интеграция транспортного комплекса России в международную транспортную систему. Для рационального распределения денежных средств, выделяемых на развитие и содержание сети автомобильных дорог, для оптимизации методов организации до-

рожного движения на автомобильных дорогах, для повышения пропускной способности и безопасности движения транспортных средств и пешеходов необходима точная и достоверная информация о состоянии автомобильных дорог. С этой целью проводятся работы по экспертизе, диагностике, паспортизации и инвентаризации объектов транспортной инфраструктуры.

### **Метод экспертизы объектов транспортной инфраструктуры**

Для экспертизы объектов транспортной инфраструктуры разработан метод, который предусматривает выполнение двух основных этапов работ. Первый этап – полевые работы. Сбор данных об объектах транспортной инфраструктуры осуществляется с помощью мобильной лаборатории, позволяющей выполнить цифровую непрерывную видеосъемку дороги на скорости 40 – 80 км/ч и привязку объектов с помощью глобальной системы позиционирования *GPS*. Второй этап – камеральные работы, выполняемые специалистами в области организации дорожного движения (ОДД) с использованием системы учета геометрических параметров проезжей части [5].

### **Сбор данных**

Оборудование передвижной лаборатории включает в себя 3 *IP*-камеры, каждая из которых формирует поток видеоданных разрешением *Full HD* частотой 30 кадров в секунду, имеет степень защиты *IP66* от проникновения пыли и воды, *GPS*-приемник с высокой точностью позиционирования, ноутбук, коммутатор, поддерживающий технологию *Power over Ethernet*, для питания камер через стандартную витую пару.

*GPS* предоставляет системе возможность круглосуточного получения точных координат и времени. Данные передаются в ноутбук из *GPS*-приемника с частотой 10 Гц. По данным, полученным с помощью *GPS*, с высокой точностью воспроизводится маршрут, пройденный передвижной лабораторией. *GPS*-данные представлены в формате *NMEA 0183*. Время в формате *UTC*, координаты в формате *WGS-84*, скорость в узлах и высота над уровнем моря в метрах определяется путем распознавания сообщений *GPRMC* и *GPGGA*.

Программное обеспечение, разработанное для мобильной лаборатории, обеспечивает:

- чтение данных в формате *NMEA* с *GPS* приемника, подключенного к *USB* порту ноутбука через виртуальный *COM*-порт;
- выбор картографического сервиса (*Google maps*, *Bing maps*, *ArcGIS*, *OpenStreetMap*, *Яндекс карты*);
- отображение текущего местоположения и траектории движения передвижной лаборатории на карте;
- запись *GPS* данных в файл на жесткий диск ноутбука;

- использование в качестве источника геоданных интернета или кэша для работы в автономном режиме;
- захват видео с *IP*-камер и вывод изображения на экран ноутбука;
- кодирование и запись видео на жесткий диск ноутбука [3].

Программное обеспечение работает в многопоточном режиме. Для работы с каждой из *IP*-камер и для записи *GPS*-трека выделяется отдельный поток выполнения. В каждый момент времени изображение с определенной камеры передается на экран ноутбука в уменьшенном разрешении и записывается в видеофайл в разрешении 1920×1080 пикселей.

В целях снижения нагрузки на процессор ноутбука для вывода изображений на экран применяется кроссплатформенная открытая графическая библиотека OpenGL.

Захват, кодирование и запись видео осуществляется с помощью набора свободных библиотек с открытым исходным кодом *FFmpeg*, которые позволяют записывать, конвертировать и передавать цифровые аудио- и видеозаписи в различных форматах.

Для управления потоком видеоданных используется потоковый протокол реального времени *RTSP*, передача потоковых данных осуществляется транспортным протоколом *TCP*, который обеспечивает надежную передачу данных.

Программное обеспечение реализует кодирование видео с использованием кодека *X264* – свободной библиотеки для кодирования видеопотоков, реализующей стандарт сжатия *H.264*, обеспечивающей как высокое качество, так и высокий коэффициент сжатия видео.

### **Обработка данных**

Для обработки данных об объектах транспортной инфраструктуры разработаны алгоритм вычисления радиусов закруглений автомобильной дороги и алгоритм вычисления расстояния видимости.

Алгоритм вычисления радиусов закруглений автомобильной дороги состоит из следующих шагов:

- Шаг 1.* Получить точку *H*, в которой траектория движения отклоняется от прямой – точку начала закругления (рисунок 1);
- Шаг 2.* Получить точку *K* окончания поворота;
- Шаг 3.* Построить прямую *HB*, касательную к траектории в точке начала закругления;
- Шаг 4.* Построить прямую *BK*, касательную к траектории в точке окончания закругления;
- Шаг 5.* Если прямые *HB* и *BK* пересекаются, найти их точку пересечения (точка *B*);
- Шаг 6.* Вычислить угол между прямыми *HB* и *BK* (угол  $\alpha$ );
- Шаг 7.* Вычислить расстояние *T* от точки начала закругления до точки пересечения прямых *HB* и *BK*;

Шаг 8. Вычислить радиус закругления  $R = T \cdot \operatorname{ctg} \alpha/2$ .

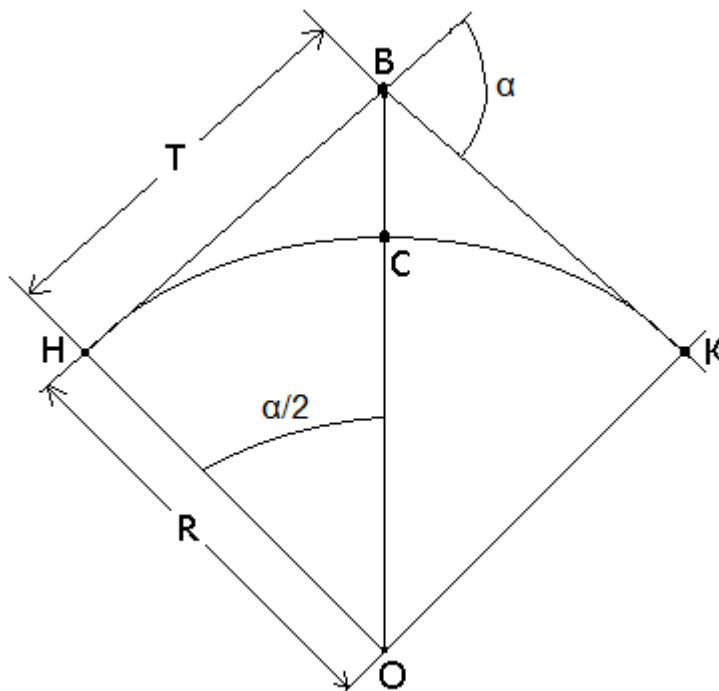


Рис. 1. Вычисление радиусов закруглений дороги

Алгоритм вычисления расстояния видимости состоит из следующих шагов:

- Шаг 1.* Выбрать начальную точку  $O$  траектории движения. В этой точке на высоте 1,2 м над поверхностью дороги находится наблюдатель. Расстояние от начала дороги до точки  $O$  равно  $m$  (рисунок 2);
- Шаг 2.* Выбрать точку  $A$  траектории после точки, в которой находится наблюдатель. В этой точке на высоте 0,2 м находится объект наблюдения. Расстояние от начала дороги до точки  $A$  равно  $m1$ ;
- Шаг 3.* Построить прямую  $OA$ ;
- Шаг 4.* Если прямая  $OA$  не пересекает траекторию движения, то переместить объект наблюдения в следующую точку траектории и перейти к шагу 3;
- Шаг 5.* Если прямая пересекает траекторию движения, т.е. объект наблюдения находится в точке  $C$ , на расстоянии  $m3$  от начала дороги, то данная итерация алгоритма завершена, расстояние видимости в точке  $O$  равно расстоянию между точкой  $O$  и последней видимой точкой  $B$ , т.е.  $m2 - m$ . Переместить наблюдателя в точку, следующую за точкой  $O$  и перейти к шагу 2;
- Шаг 6.* Если расстояние от точки  $O$  до точки, в которой находится объект наблюдения равно максимальной видимости, то данная итерация алгоритма завершена, расстояние видимости в точке  $O$  равно максимальной видимости. Переместить наблюдателя в точку, следующую за точкой  $O$  и перейти к шагу 2;
- Шаг 7.* Если наблюдатель находится в конечной точке траектории, алгоритм завершен.

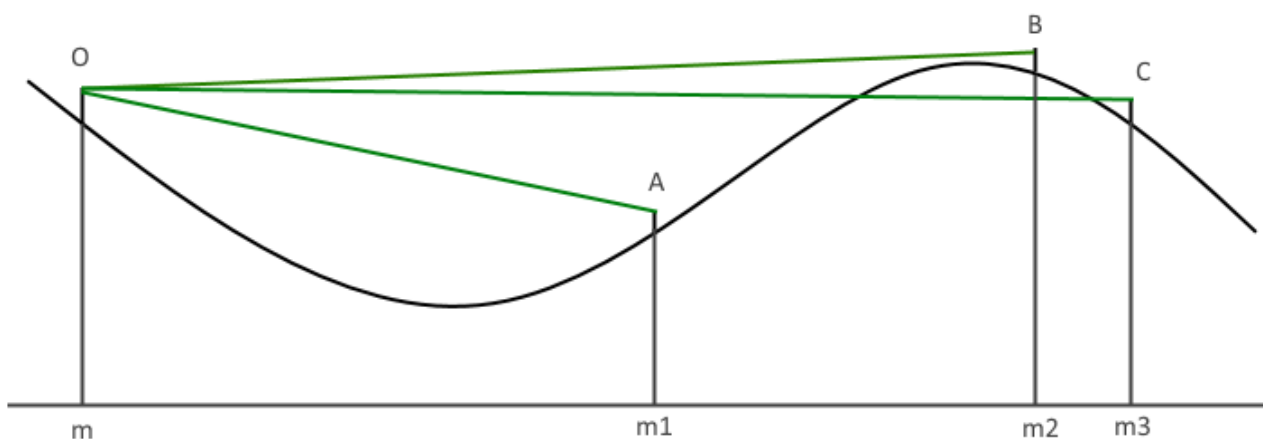


Рис. 2. Вычисление расстояния видимости

Описанные выше алгоритмы реализованы в системе учета геометрических параметров проезжей части [2], которая, согласно разработанному методу, применяется при проведении камеральных работ и обеспечивает:

- вычисление радиусов закруглений дороги и отображение графика радиусов закруглений (рисунок 3);
- отображение графика высот;
- вычисление уклонов дороги и отображение диаграммы уклонов;
- вычисление расстояния видимости и отображение графика видимости;
- учет технических средств организации дорожного движения (ТСОДД);
- формирование сводных ведомостей размещения ТСОДД;
- измерение линейных и площадных геометрических параметров объектов транспортной инфраструктуры по кадру видеозаписи (рисунок 4).



Рис. 3. График радиусов закруглений дороги

### Использование данных

Система учета геометрических параметров проезжей части позволяет добавлять, удалять и редактировать информацию в базе данных геоинформационной системы ITSGIS [6] о следующих объектах транспортной инфраструктуры:

- дорожные знаки;
- дорожная разметка;
- направляющие устройства (сигнальные столбики);
- пешеходные дорожки (тротуары);
- дорожные ограждения;
- остановки общественного транспорта;
- светофоры;
- искусственное освещение.

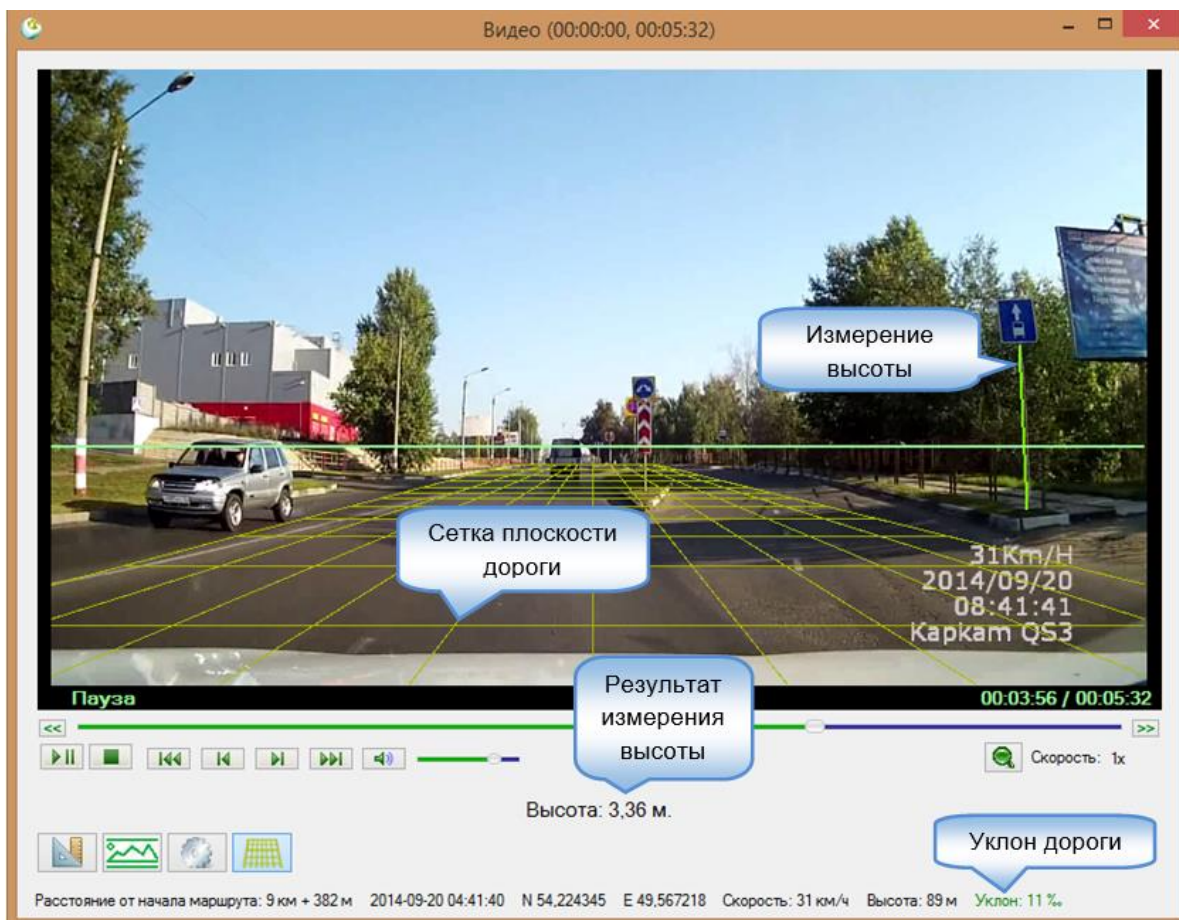


Рис. 4. Измерение высоты опоры знака по видеокадру

Каждый объект в базе данных хранит информацию о местоположении во всемирной геодезической системе координат (WGS-84) и линейный адрес относительно начала дороги в формате (км+м) [4].

Система позволяет автоматически формировать проекты ОДД в формате обмена изображениями (DXF), который разработан компанией Autodesk [1].

Проект ОДД включает в себя контуры автомобильной дороги, диаграмму продольных уклонов, график кривых в плане, линии дорожной разметки, дорожные знаки, дорожные ограждения, пешеходные ограждения, направляющие устройства, светофоры, освещение,

остановки общественного транспорта, железнодорожные переезды, искусственные сооружения [7].

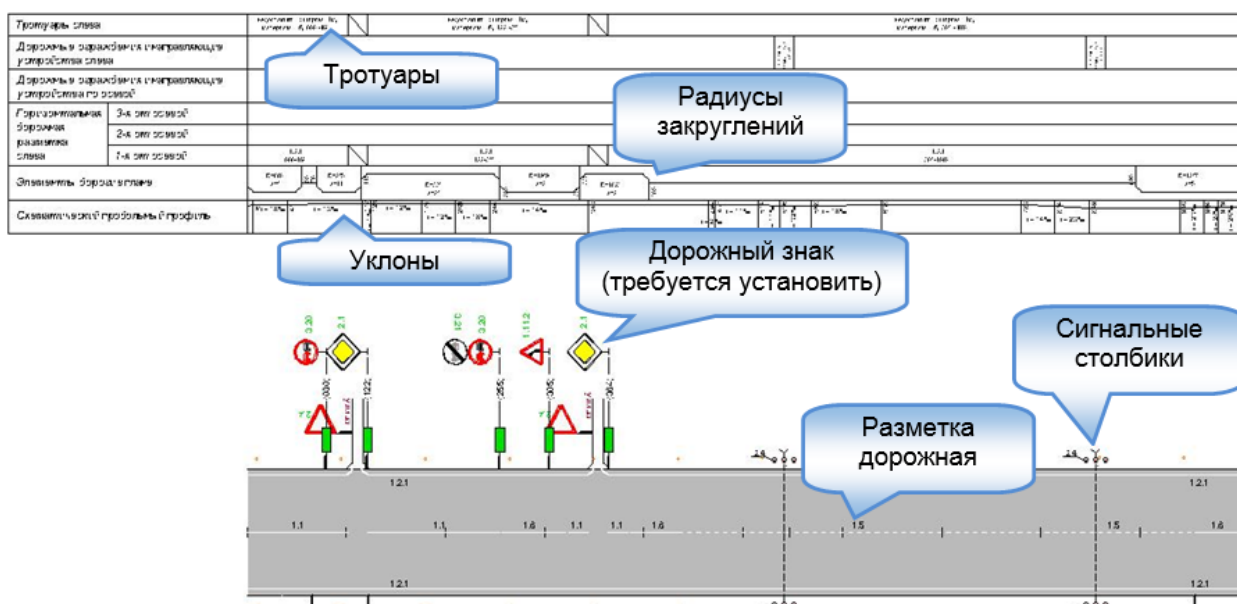


Рис. 5. Проект организации дорожного движения

### Заключение

Применение разработанного метода и алгоритмов экспертизы объектов транспортной инфраструктуры позволило автоматизировать процесс сбора, обработки и использования информации, уменьшить нагрузку на специалистов отдела ОДД, сократить трудоемкость и повысить качество разработки проектов ОДД.

Разработанный метод и алгоритмы экспертизы объектов транспортной инфраструктуры реализованы в программно-аппаратном комплексе исследования автомобильных дорог, инвентаризации и паспортизации, который обеспечивает:

- запись видео с *IP*-камер;
- запись *GPS*-данных;
- хранение информации об установленных ТСОДД;
- вычисление радиусов закруглений автомобильной дороги;
- вычисление продольных уклонов дороги;
- вычисление расстояния видимости;
- измерение линейных и площадных геометрических параметров объектов транспортной инфраструктуры по кадру видеозаписи;
- формирование сводных ведомостей размещения ТСОДД;
- формирование проектов ОДД.

## Список литературы

1. Бойков В.Н. САПР автодорог — перспективы развития // САПР и ГИС автомобильных дорог — 2013. — №1. — С. 6–9.
2. Головнин О.К., Ключников В.А., Михеев С.В. Автоматизированная система паспортизации автомобильной дороги // Перспективные информационные технологии (ПИТ 2013): труды Международной научно-технической конференции. — Самара: Изд-во СНЦ РАН, 2013. — С. 230-233.
3. Ключников В.А., Головнин О.К., Михеев С.В. Система сбора и накопления геовидеоданных для инвентаризации автомобильных дорог // Новые информационные технологии в научных исследованиях и в образовании: материалы XIX Всероссийской научно-технической конференции студентов, молодых ученых и специалистов. — Рязань: РГРТУ, 2014. — С. 244-246.
4. Михеева Т.И. Автоматизация разработки проектов организации дорожного движения / Михеева Т.И., Головнин О.К., Ключников В.А. // Актуальные проблемы автотранспортного комплекса: межвуз. сб. науч. статей (с междунар. участием). — Самара: Самар. гос. техн. ун-т, 2014. — С. 177-185.
5. Михеева Т.И. Структурно-параметрический синтез интеллектуальных транспортных систем. — Самара: Самар. науч. центр РАН, 2008. — 380 с.
6. Сидоров А.В., Головнин О.К. Построение геоинформационной модели объектов транспортной инфраструктуры // Труды II Международной конференции «Информационные технологии интеллектуальной поддержки принятия решений» (ITIDS'2014). — Уфа: Изд-во УГАТУ, 2014. — С. 165-169.
7. Смогунов В.В., Митрохина Н.Ю. Системный анализ методов проектирования автомобильных дорог // Известия высших учебных заведений. Поволжский регион. Технические науки. — 2011. — №. 4. — С. 116-127.

### Рецензенты:

Прохоров С.А., д.т.н., профессор, заведующий кафедрой информационных систем и технологий, Самарский государственный аэрокосмический университет имени академика С.П. Королева (национальный исследовательский университет), г.Самара.

Хайтбаев В.А., д.э.н., профессор кафедры организации и управления перевозками на транспорте, Самарский государственный аэрокосмический университет имени академика С.П. Королева (национальный исследовательский университет), г.Самара.