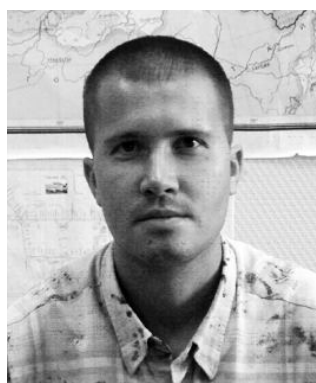




Щербаков Владимир Васильевич закончил НИИГАиК. С 1998 по 1997 гг. работал в СНИИГиМСе научным сотрудником в отделе геодезии. С 1997 г. работает в СГУПСе руководителем НИЛ «Диагностика дорожных одежд и земляного полотна», а с 2005 г. — заведующим кафедрой «Инженерная геодезия».

Основным научным направлением является разработка средств и методов автоматизации геодезических измерений, диагностики железных и автомобильных дорог.



Васёха Владимир Николаевич закончил СГУПС. С 2003 г. работает в СГУПСе в лаборатории «Диагностика дорожных одежд и земляного полотна», аспирант.

Основным направлением научных исследований является диагностика автомобильных и железных дорог.



Барсук Марина Николаевна закончила СГГА. С 2005 г. работает в СГУПСе в лаборатории «Диагностика дорожных одежд и земляного полотна», преподаватель кафедры «Инженерная геодезия», аспирант.

Основным направлением научных исследований является разработка средств и методов определения геометрических параметров автомобильных дорог.



Буланов Михаил Юрьевич закончил Сибирский автомобильно-дорожный институт (г. Омск). С 1999 по 2002 гг. работал начальником технического отдела ОГУ ТУАД НСО. С августа 2002 г. по настоящее время работает главным инженером ОГУ ТУАД НСО.

Основным направлением научной работы является диагностика автомобильных дорог.

УДК 625.7

В.В.ЩЕРБАКОВ, В.Н. ВАСЁХА, М.Н. БАРСУК (СТУПС),
М.Ю. БУЛАНОВ (ОГУ ТУАД Новосибирской области, Новосибирск)

ГЕОДЕЗИЧЕСКИЕ МЕТОДЫ ДИАГНОСТИКИ АВТОМОБИЛЬНЫХ И ЖЕЛЕЗНЫХ ДОРОГ

Диагностика автомобильных и железных дорог является основным источником информации для оценки их состояния, прогноза, назначения их ремонта и обеспечения безопасности. Предлагаются средства и методы диагностики, позволяющие повысить объективность получаемой информации.

Дороги представляют собой сложные инженерные сооружения, находящиеся под воздействием динамических нагрузок и климатических факторов. При проектировании и строительстве дорог закладываются определенные требования, обеспечивающие функциональные возможности и безопасность движения. К таким требованиям относятся эксплуатационные характеристики и геометрические параметры. У автомобильных и железных дорог имеется специфика к требованиям по геометрическим параметрам и эксплуатационным характеристикам. При этом есть и общие требования, характеризующие дорогу: радиус кривой, вираж, ровность и многое другое. Название характеристики и дефекта дороги могут различаться, при этом сущность остается одинаковой, например, на автомобильных дорогах одной из характеристик, определяющих качество покрытия проезжей части, является «ровность», а на железных дорогах аналогичные диагностические показатели называются просадками, или волнообразным износом рельсов. Для обеспечения безопасного движения по дорогам, а также обеспечения их функционирования существуют нормативные документы, регламентирующие отклонение параметров от проектных значений или показателей, заложенных в ГОСТ или СНиП. Контроль отклонения параметров дорог от регламентируемых нормативными документами выполняется регулярно в соответствии со стандартами, существующими на автомобильных и железных дорогах России. Для оценки состояния дорог применяется техническая диагностика. Методы и средства диагностики дорог разнообразны и применяются в зависимости от ее вида и назначения. На железных дорогах России существует регламент проведения диагностики, основанный на безопасности движения поездов. Диагностика рельсовой колеи по геометрическим параметрам выполняется в соответствии с требованиями инструкции ЦП515. Периодически один раз в месяц на всей сети железных дорог России определяются ширина колеи (шаблон), возвышение рельса (уровень), положение рельса в плане (рихтовка), положение рельса в вертикальной плоскости (просадка). Все геометрические параметры устанавливаются с погрешностью, не превышающей 2 мм. Ширина колеи и возвышение рельса являются абсолютными величинами, а рихтовка и просадка — относительными величинами, т. е. пространственное положение рельсовой колеи определяется в относительных величинах. Для этого выбирается определенная длина хорды как в плане, так и в вертикальной плоскости, и измеряется величина стрел изгиба в середине этой хорды с шагом смещения хорды по линейной координате через 0,3–1 м. Сложившаяся практика диагностики по приведенным параметрам в соответствии с инструкцией ЦП515 устраивает железнодорожников. Это наиболее простые методы диагностики и,

самое главное, относительные методы достаточно просто реализовать аппаратно, поэтому начиная с 1960 гг. на базе хордового метода разрабатываются различные типы диагностической аппаратуры, измерительные системы выправки пути и другая аппаратура.

Диагностические средства измерений разрабатывают, как правило, сами дорожники. На железных дорогах разработкой диагностической аппаратуры занимается несколько крупных организаций. Современная диагностическая аппаратура по определению геометрических параметров рельсовой колеи, например ЦНИИ-4, представляет собой комплекс, содержащий инерциальную систему, лазерные измерители линейных перемещений, вычислительную технику и другую современную комплектацию. Несмотря на применение самых современных измерительных средств, идеология создания диагностических приборов остается неизменной и базируется на хордовом методе. Аналогичная ситуация на автомобильных дорогах, так как часть очень важных диагностических параметров определяется косвенными или относительными методами. Эффективность этих методов является низкой как при оценке достоверности состояния дорог, так и производительности в зависимости от методов и средств измерения, например толчкомер позволяет на скорости 60 км/ч определять параметр ровности, при этом погрешность может достигать 10 %, с использованием дорожной универсальной рейки можно выполнить оценку покрытия достоверно, при этом производительность составляет не более 1 км в день. Для этих целей может быть использован профилограф, позволяющий с относительно высокой производительностью и точностью определить состояние покрытия проезжей части автомобильной дороги по параметру, например, «ровность». При этом стрела изгиба определяется на базе измерительного средства, например, 3 м, т. е. аналогично диагностическим средствам, применяющимся на железных дорогах. Наиболее прогрессивные компании и организации стремятся получить не только фактические отклонения от нормативных требований, но и динамику изменения этих параметров, что с применением относительных методов невозможно или требует больших затрат на реперную сеть для обеспечения единства измерений.

Относительные методы определения пространственного положения и геометрических параметров дороги при их разнообразии и широком применении в настоящее время очевидно ограничены. Они не позволяют расширить диапазон исследований и функциональные возможности диагностической аппаратуры, в частности устанавливать динамику изменения параметров.

Рассмотрим определение геометрических параметров рельсовой колеи с использованием вагонов-путеизмерителей. На рис. 1 показана схема измерения взаимного положения рельсовых нитей по высоте (уровень), на рис. 2 показана схема измерения ширины колеи (шаблон). На рис. 3 показана каноническая схема измерения стрел изгиба, определяющих положение рельсовой нити в плане. На представленной схеме видно, что длина хорды определяется длиной вагона, на котором установлена аппаратура, и не может быть изменена, точно так же как и длина хорды в вертикальной плоскости.

Это принципиально не позволяет определять пространственное положение пути на участке более длины вагона, например на отрезке 50 или 100 м. В связи с этим на железных дорогах России не определяются и не устраняются длинные

неровности рельсовой нити в плане (завоины). При скоростях движения в пределах 100 км/ч плавность хода поездов не нарушается. При увеличении скоростей по отношению к существующим, длинные неровности оказывают негативное влияние на плавность хода поезда, вызывают повышенный износ рельсов. Решить эту проблему существующей диагностической аппаратурой, построенной на базе метода хорд, нельзя, необходимо применение самых современных гироскопических, инерциальных и лазерных измерительных средств. Второй пример — это определение ровности на автомобильных дорогах или волнообразный износ рельсов на железных дорогах. Задача решается в настоящее время следующим путем: создается плоскость на какой-либо базе (расстояние между осями колес и т.д.) и относительно этой плоскости в середине определяется величина неровности. Так же как и в первом случае, нет возможности исследовать неровности на базе различной длины в широком диапазоне. Такой подход характерен и для вагонов-путеизмерителей, и для автодорожных лабораторий.

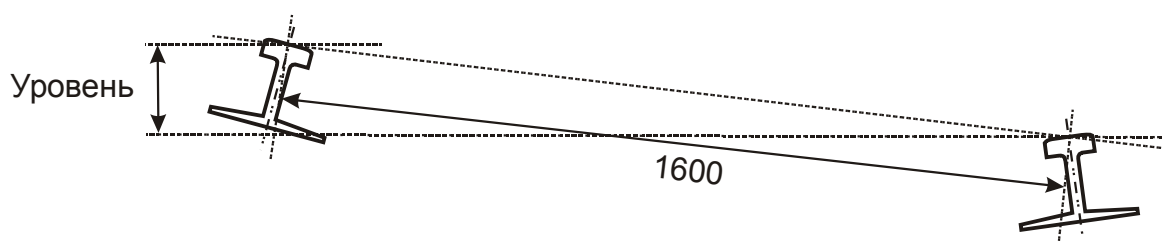


Рис. 1. Схема измерения взаимного положения рельсовых нитей по высоте (уровень)

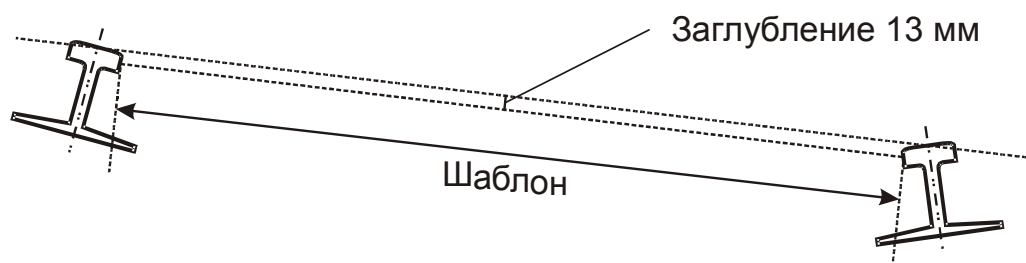


Рис. 2. Схема измерения ширины колеи (шаблон)

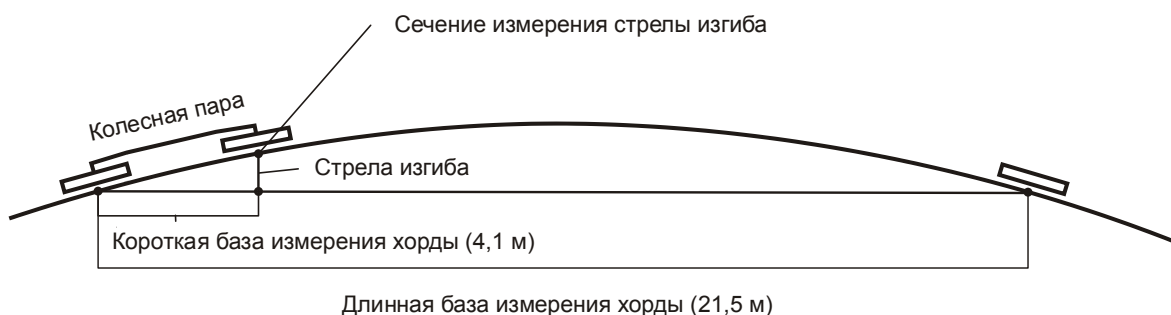


Рис. 3. Каноническая схема измерения стрел изгиба рельсовых нитей путеизмерительными вагонами в РФ

Пространственное положение элементов дороги и геометрических параметров, включая определение неровностей в вертикальной и горизонтальной плоскости, может быть определено геодезическими методами по координатам. С учетом того, что координаты определяют пространственное положение объекта и могут преобразовываться из одной системы координат в другие, могут быть использованы для любых расчетов, определяющих взаимное положение элементов дороги и их положение относительно пространственной системы координат, координатные методы оценки состояния дорог оценивают как перспективные. Еще более важное значение использования геодезических методов диагностики заключается в возможности мониторинга автомобильных и железных дорог. Применение геодезических координат позволяет с использованием программных комплексов ГИС получать динамику изменения параметров с течением времени.

Методы получения пространственного положения элементов дороги (геодезических координат) различны. В соответствии с методами используются и различные средства определения пространственного положения объектов в выбранной системе координат. Наиболее распространенными средствами определения пространственного положения являются спутниковые системы координат (GPS и Глонасс), тахеометры различных типов, лазерные сканеры и инерциальные системы, системы счисления пути (интеграторы), фотограмметрические и другие средства. Выбор средств и методов определения пространственного положения объекта определяется требованиями к точности определения координат, элементов взаимного положения (углов, линий), детализации съемки, производительности или скорости съемки для автоматизированных систем.

Специфика требований к геометрическим параметрам дорог в целом заключается в высокой точности (1–2 мм), в относительных значениях от $1/1000$ до $1/20000$ определения взаимного положения элементов дороги, а пространственное положение точки относительно, например, условной системы координат может составлять 10–50 мм и более. Таким образом, требования к взаимному положению элементов дороги по геометрическим параметрам практически на порядок выше к пространственному положению дороги (оси дороги) в какой-либо системе пространственных координат. Кроме того, эксплуатационная работа на дороге привязана к линейной координате, поэтому должен быть обеспечен пересчет местоположения из трехмерной системы координат в одномерную.

Не выполняя детальный анализ всех средств и методов определения взаимного положения элементов дороги и их пространственного положения, приведем схему комплексирования и алгоритм определения координат и геометрических параметров диагностической аппаратуры, предназначенной для автомобильных и железных дорог. На рис. 4 приведена структурная схема аппаратуры для определения пространственного положения объектов и геометрических параметров дорог.

Аппаратура включает GPS, блок гироскопов, контроллер, датчик пути и компьютер. GPS и блок гироскопов синхронизированы, что позволяет выполнять совместную обработку координат.

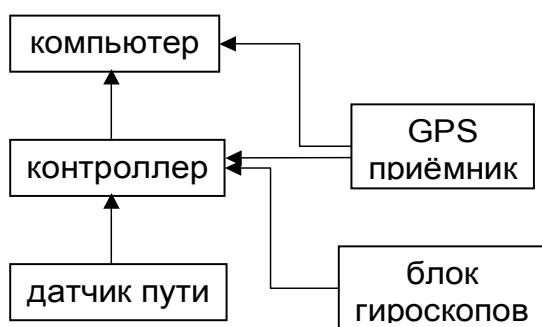


Рис. 4. Структурная схема аппаратуры для определения пространственного положения объектов и геометрических параметров дорог

метре УДК «Ровность» и дорожной передвижной лаборатории СГУПС (ДПЛ). Все эти разнообразные приборы созданы в соответствии со структурной схемой, приведенной на рис. 4.

Дискрет съема информации с гироскопов составляет 1 см, с GPS — 1 с. Диагностическая аппаратура для автомобильных и железных дорог отличается только конструктивно в большей степени ходовой тележкой или транспортным средством, на которое устанавливается аппаратура. На рис. 5 показан способ определения неровности дороги геодезическими методами (по высотным отметкам), реализованными в АПК «Профиль», ПТ «Волна», АПК «Волна», универсальном дорожном кривиметре

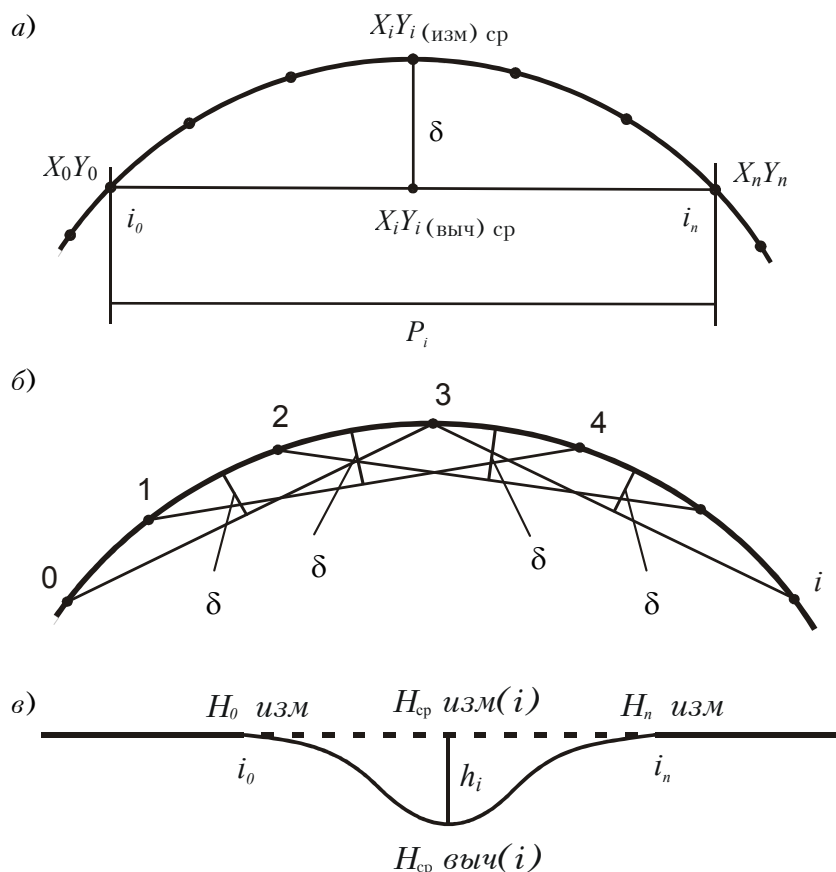


Рис. 5. Принцип определения стрел изгиба в горизонтальной и вертикальной плоскости координатным способом:

а — схема определения стрел изгиба (δ) по координатам; б — схема съемки кривой в горизонтальной плоскости, где 1, 2, 3, ..., i — номера точек, образующих хорды; в — схема съемки неровностей в вертикальной плоскости

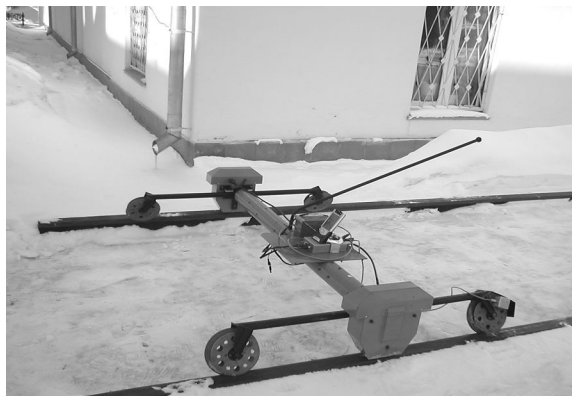
АПК «Профиль» предназначен для диагностики железных дорог по геометрическим параметрам, натурной съемки плана и продольного профиля железнодорожных путей, ПТ «Волна» — для натурной съемки волнообразного износа

рельсов, АПК «Волна» — для натурной съемки волнообразного износа рельсов и определения геометрических дефектов рельсов. УДК «Ровность» используется для диагностирования автомобильных дорог по параметрам «ровность» и «поперечные уклоны». ДПЛ СГУПСа предназначена для диагностики автомобильных дорог по геометрическим параметрам и проектно-изыскательских работ для капитального ремонта. Внешний вид приборов показан на рис. 6.

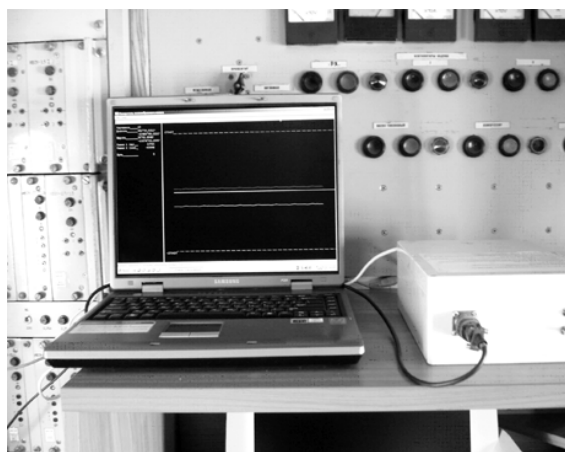
а)



б)



в)



г)



д)



е)



Рис. 6. Приборы, предназначенные для определения состояния дороги:
а — АПК «Профиль»; б — ПТ «Волна»; в — АПК «Волна»; г — УДК «Ровность»;
д — ДПЛ СГУПСа; е — рабочее место оператора ДПЛ

Для каждого типа диагностической аппаратуры существуют свои отчетные формы. На рис. 7 в качестве примера приведены графики ровности автомобильной дороги, полученные УДК «Ровность», а на рис. 8 — графики волнообразного износа рельсов, полученные с помощью АПК «Волна» (верхний график — исходные данные, нижний график — обработанные данные).

График неровности по значениям амплитуд

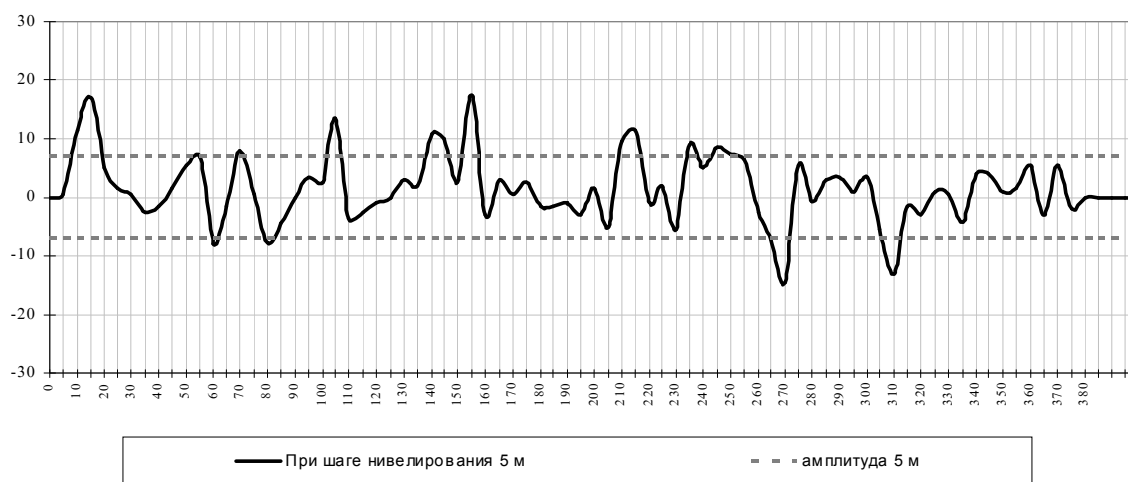


Рис. 7. Графики ровности автомобильной дороги, полученные УДК «Ровность»

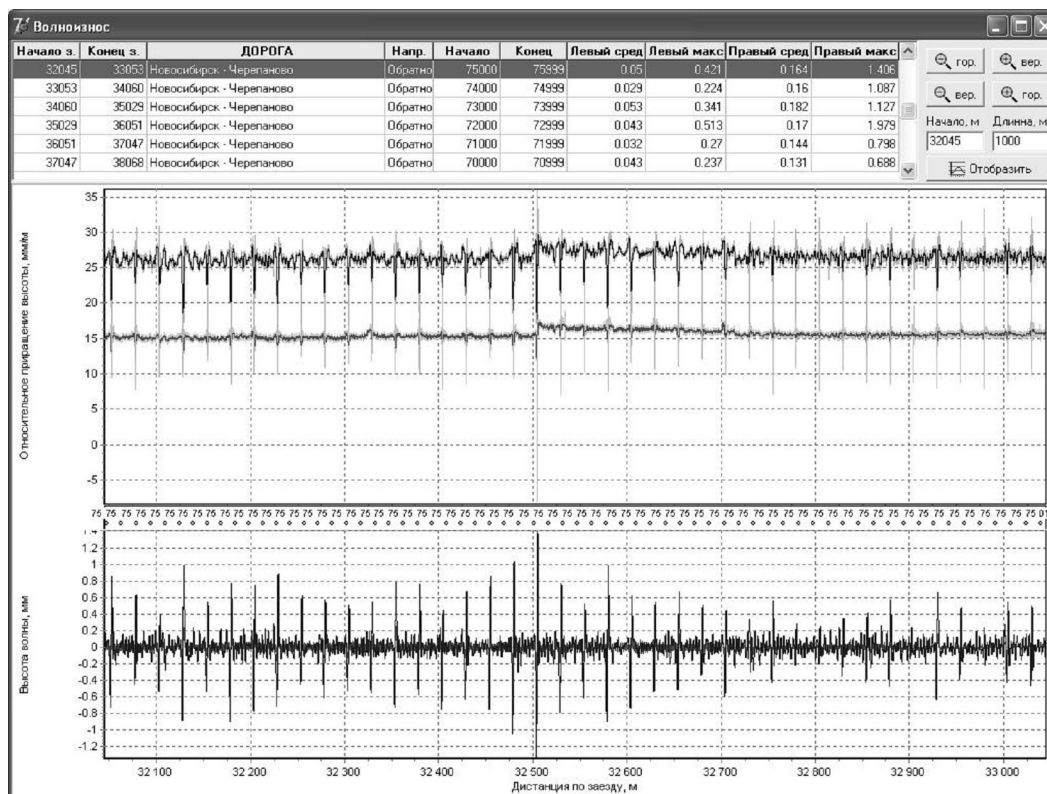


Рис. 8. Графики волнообразного износа рельсов, полученные АПК «Волна»

Таким образом, представленные приборы, созданные на базе координатного метода получения геометрических параметров, представляют собой современные измерительные средства для диагностики дорог. Каждый из приведенных приборов имеет функциональные возможности в несколько раз шире по сравнению с аналогами, в основе работы которых лежат другие принципы. Геометрические параметры жестко связаны с геодезическими координатами, линейными координатами дороги, поэтому могут использоваться как эксплуатационными организациями, так и структурами управления, работающими с ГИС различного уровня. Широкое внедрение геодезических методов диагностики обеспечит единство измерений, что позволит не только выполнять диагностику в режиме мониторинга, но и обрабатывать данные диагностики в режиме мониторинга, определяя динамику изменения геометрических параметров. Решение этой проблемы позволит перейти на новый уровень диагностики дорог с выдачей эксплуатационным организациям и управленческим структурам прогноза по техническому состоянию и срокам предупредительно-восстановительных работ, что позволит многократно снизить затраты на эксплуатацию дорог.