



УДК 656.2

В. В. Алексеев, П. Г. Королёв, Д. Ю. Ларионов
Санкт-Петербургский государственный электротехнический
университет «ЛЭТИ» им. В. И. Ульянова (Ленина)

М. Н. Шилов
ОАО «Радиоавионика» (Санкт-Петербург)

Концепция построения системы динамического мониторинга рельсового пути

Рассмотрена концепция построения системы динамического мониторинга рельсового пути, предназначенной для установки на любой железнодорожный вагон. Предложен алгоритм, позволяющий комплексировать информацию от датчиков системы с целью повышения точности диагностики рельсов.

Микромеханический модуль, рельсовый путь, бесплатформенная инерциальная навигационная система

Современная ситуация в области диагностики рельсового пути. Как правило, специалисты путевого хозяйства для описания геометрии пути используют следующие основные геометрические параметры:

- ширина колеи;
- рихтовка;
- просадка;
- отклонение от продольного профиля;
- уровень;
- кривизна рельсовой колеи (по курсовому углу кузова вагона);
- отклонения от прямолинейного положения в плане прямых участков пути (по измерению азимутального угла кузова вагона);
- горизонтальные и вертикальные ускорения кузова.

Данные параметры измеряются в соответствии с принятыми на российских железных дорогах инструкциями [1], [2].

При этом просадки и рихтовки рельсов определяются хордовыми методами, основную измерительную информацию в которых несут показания системы датчиков «букса–кузов» (Б–К), определяющих вертикальные перемещения колес относительно кузова вагона. Поскольку параметры

пути измеряются в условиях динамического взаимодействия, то колебания вагона существенно влияют на процессы, происходящие в контакте «колесо–рельс», а следовательно, вносят дополнительную составляющую в показания датчиков «букса–кузов». В работах научной группы, основанной профессором А. В. Мочаловым [3], было показано, что коэффициент передачи хордового метода $r_1(\lambda)$ для случая равноплечей хорды зависит от контролируемой длины неровности (рис. 1). Из графика видно, что хордовый метод

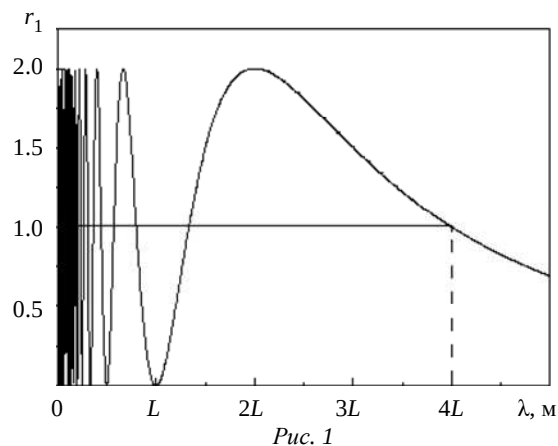


Рис. 1

БИНС-1М



а

БИНС-2М



б

БИНС-Тек



в

Рис. 2

позволяет приблизительно восстановить форму неровности только при условии, что ее длина превышает длину хорды ($\lambda > L$). При $\lambda < L$ измерения как таковые отсутствуют из-за нелинейного искажения информации и короткие неровности восстановлению вообще не подлежат. При этом с увеличением длины неровности чувствительность метода заметно падает. От этого недостатка избавлен инерциальный метод диагностики [4], [5], который и предлагается использовать в системах динамического мониторинга рельсового пути (СДМ РП).

Измерение таких геометрических параметров рельсового пути, как уровень, кривизна, отклонение от продольного профиля, требует, в соответствии с [1], [2], использования инерциальной навигационной системы (ИНС). На современных путеизмерительных вагонах (ПВ) во всем мире активно внедряются бесплатформенные ИНС (БИНС). В настоящее время на отечественном рынке активно внедряются системы производства ЗАО НПК «Электрооптика» (Москва) БИНС-1М (рис. 2, *а*) и БИНС-2М (рис. 2, *б*) на лазерных гироскопах. Кроме того, учитывая стремительное развитие волоконно-оптических гироскопов, может рассматриваться продукция, например, фирмы «Текнол» (Москва) БИНС-Тек (рис. 2, *в*).

Текущий контроль состояния рельсового пути с использованием ПВ является чрезвычайно эффективным. Однако существует целый класс так называемых импульсных неровностей поверхности катания рельсовых нитей [6], которые в настоящее время контролируются визуально-измерительными методами с использованием ручных средств (рис. 3)

Анализируя рис. 1, можно сделать вывод о том, что в некоторых случаях дефекты поверхности катания рельсовых нитей могут быть детектированы ПВ как коротковолновые вертикальные неровности (просадки на базе тележки). Таким образом, существует необходимость в разработке автоматизированных средств диагностики дефектов поверхности катания рельсовых нитей для

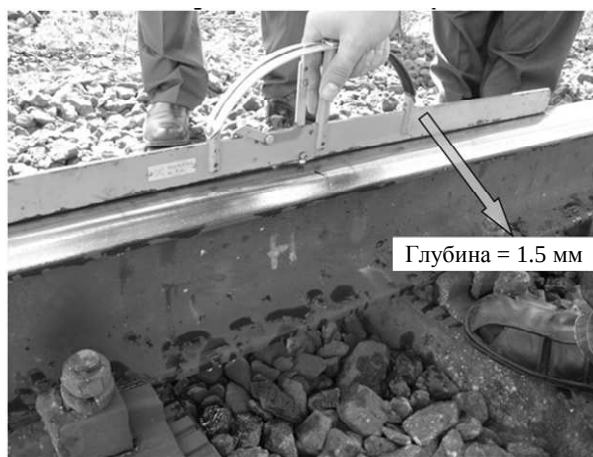


Рис. 3

дооснащения ими ПВ. Это позволит корректировать показания датчиков Б-К перед их использованием как в традиционных (хордовых), так и в бесхордовых (инерциальных) алгоритмах.

В настоящее время на железных дорогах используются различные технические средства, предназначенные для регистрации параметров верхнего и нижнего строения пути, а также пространственного положения рельсовых нитей. Так, например, состояние земляного полотна оценивается специализированными системами, основанными на георадарных технологиях; состояние рельсов определяется с помощью дефектоскопных тележек и вагонов. Путьевые шаблоны, путеизмерительные тележки и вагоны служат для оценки параметров геометрии рельсовой колеи. Однако использование путеизмерительных тележек и дрезин является проблематичным в силу низкой скорости движения и необходимости закрытия перегонов для проведения измерений. ПВ, используемые в составе скорых пассажирских поездов либо отдельно с локомотивом, имеют большую производительность по сравнению с ручными тележками и дрезинами. Следует в свою очередь отметить, что ПВ, несмотря на их очевидные преимущества – весьма дорогостоящи,

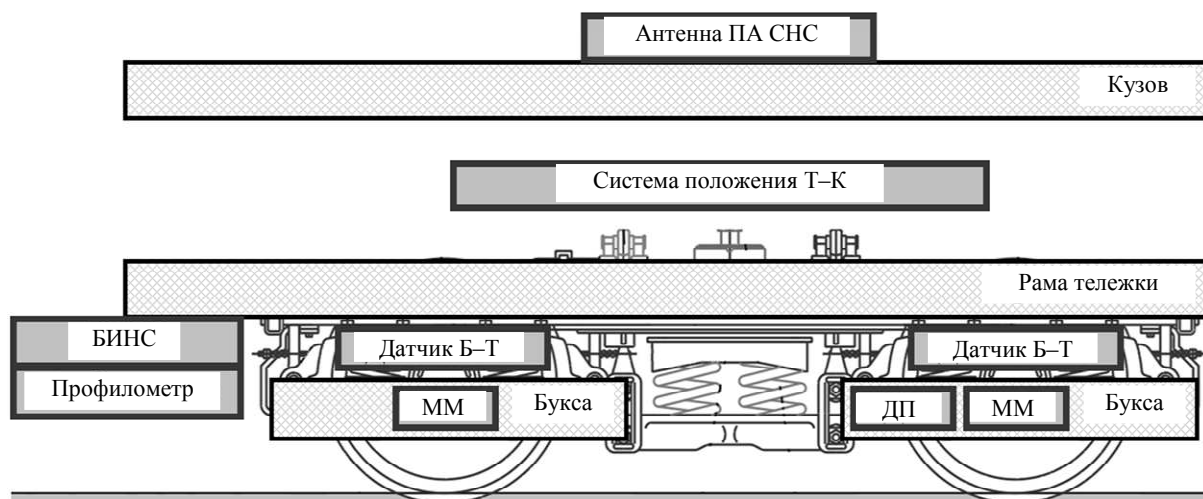


Рис. 4

что в значительной мере ограничивает количество используемых подвижных единиц этого класса на РЖД. В качестве подсистемы, расширяющей функционал уже существующих ПВ, а также для оснащения других подвижных единиц (а значит, и увеличения частоты контрольных проездов) может быть использована предлагаемая в настоящей статье СДМ РП.

Измерительная аппаратура системы динамического мониторинга рельсового пути. Минимальная комплектация измерительной аппаратуры СДМ РП представлена на рис. 4. На раме тележки устанавливается моноблок, в состав которого входят БИНС и профилометр. Таким образом, реализуется схема измерения шаблона, уровня и кривизны рельсового пути. Для реализации традиционного двухточечного хордового метода измерения просядок рельсовых нитей на базе тележки устанавливается комплект из четырех датчиков линейных перемещений «букса-тележка» (датчики Б-Т). При этом также реализуется схема определения отклонения от продольного профиля, перекосов и т. д. [1], [2]. Для реализации методов нормирования результатов измерений с целью повышения степени воспроизводимости результатов диагностики вне зависимости от массогабаритных и динамических характеристик ПВ требуется найти изменение распределения нагрузки, создаваемой ПВ на путь, в точках контакта колес тележки. При этом помимо показаний датчиков Б-Т необходимо знать жесткости пружин, через которые рама тележки опирается на буксовые узлы. Другим более эффективным решением может стать использование микромеханических модулей (ММ), в состав которых входят миниатюрные датчики угловой скорости и линейных ускорений.

Базовой системой предлагаемой концепции, учитывая использование одного профилометра, т. е. измерения только в одном поперечном сечении рельсового пути, становится БИНС.

На рис. 5 приведены возможные места установки БИНС, реализованные в отечественных ПВ.

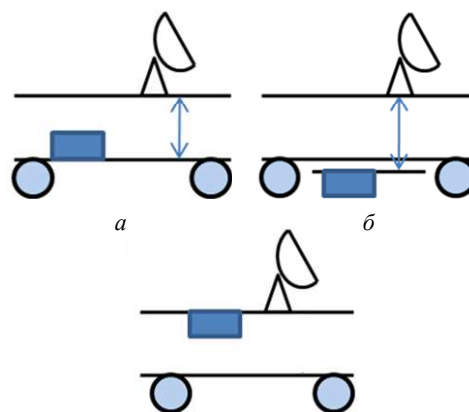


Рис. 5

С точки зрения эффективного использования БИНС в задаче диагностики геометрических параметров рельсового пути при скорости 160 км/ч, в том числе с точки зрения оптимальности конструкторских решений, наиболее удачным является вариант а – использование моноблочной конструкции, включающей в себя БИНС и профилографы (шаблон), монтируемой на подрессоренную часть ходовой тележки. Недостаток варианта б – сложность обеспечения необходимой жесткости дополнительной плиты, на которой также смонтированы профилографы (шаблон). Однако достоинство такого подхода – более комфортные условия для эксплуатации БИНС, так как благодаря дополнительной подвеске колебания платформы находятся в более низкочастотной

области по сравнению с колебаниями рамы тележки (вариант *а*). Недостатком варианта *в* является то, что при измерении просядок высокочастотные (наиболее информативные) составляющие движения точек контакта «колесо–рельс» должны обеспечиваться системой датчиков Б–К, представляющих собой тросик с системой его натяжения через ролик и контролем изменения его длины (рис. 6).



Рис. 6

Для компенсации ее инструментальных погрешностей должны быть реализованы ставшие уже традиционными схемы коррекции по показаниям датчика пути (ДП) и приемной аппаратуры спутниковых систем (ПА СНС). Для пересчета показаний последней (линейных скоростей и координат приемной антенны) к месту установки БИНС должна быть использована система положения «тележка–кузов» (Т–К), представляющая собой, например, оптическую систему [7].

Алгоритм взаимодействия датчиков и систем СДМ РП. Структурная схема, описывающая основные каналы взаимодействия датчиков и систем, представлена на рис. 7.

Следует отметить, что СДМ РП основана на комплексировании разнородной информации как при измерении параметров рельсового пути, так и при определении положения обнаруженных дефектов и характеристик движения подвижного основания. Информация о текущем состоянии рельсового пути заносится в геоинформационную базу пути, где сравнивается с результатами предыдущих проездов и дополняет эти результаты.

Предложенная система диагностики неровностей рельсового пути с использованием микромеханических модулей должна автоматизировать процедуру измерения импульсных неровностей рельсовых нитей (на текущий момент диагностируются в основном визуально-измерительными методами).

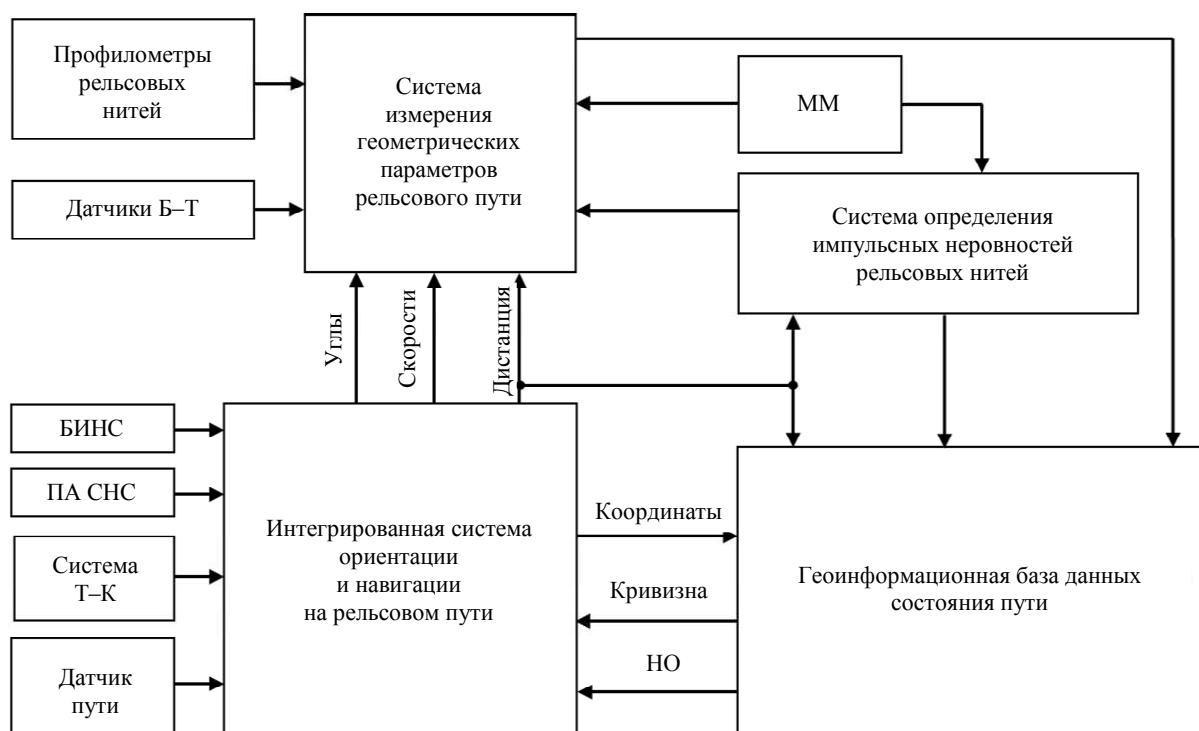


Рис. 7

Предложенная инерциальная система ориентации и навигации (ИСОИ) на рельсовом пути может использоваться для коррекции инструментальных погрешностей БИНС и получения математического описания погрешностей ДП в зависимости от пространственного положения рельсового пути и динамических характеристик ПВ. Следует также отметить возможность использования при решении задачи навигации информации о навигационных отметчиках (НО на рис. 7). Использование такой ИСОИ позволит со временем сформировать геоинформационную базу данных о состоянии пути для выявления тенденций развития возникающих дефектов и о его пространственном положении, а также создать электронную карту, содержащую в себе в первую очередь такие параметры, как кривизна пути и географические координаты стационарных навигационных отметчиков (пикетные столбы и пр.).

Таким образом, в данной статье рассмотрена современная ситуация в области диагностики

рельсового пути и предложена концепция построения системы его динамического мониторинга, позволяющая осуществлять диагностику рельсового пути без увеличения трафика движения благодаря возможности ее установки на любой железнодорожный вагон. Разработан алгоритм взаимодействия датчиков и систем СДМ РП, позволяющий комплексировать информацию от различных датчиков.

Изложенные в настоящей статье алгоритмы, а также методы решения задач разработаны в рамках соглашения № 14.574.21.0043, выполняемого по ФЦП «Исследования и разработки по приоритетным направлениям развития научно-технологического комплекса России на 2014–2020 гг.», по теме: «Проведение прикладных исследований, направленных на создание интеллектуальной информационно-измерительной системы комплексной безопасности участка обращения локомотива» (шифр заявки «2014-14-576-0048-010»).

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Технические указания по определению и использованию характеристик устройства и состояния пути, получаемых вагонами-путеобследовательскими станциями ЦНИИ-4. (ЦПТ – 55/15) / Департамент пути и сооружений МПС России. М., 2003.
2. Инструкция по текущему содержанию железнодорожного пути: ЦП-774/ МПС РФ. М., 2000.
3. Мочалов А. В. Инерциальные методы и средства динамических измерений параметров движения и деформаций объектов: автореф. дис. ... д-ра техн. наук / СПб ГИТМО (ТУ). СПб., 2002.
4. Подгорная Л. Н. Разработка и исследование системы диагностики рельсового пути на микромеханических чувствительных элементах: автореф. дис. ... канд. техн. наук / СПбГЭТУ «ЛЭТИ». СПб., 2010.
5. Измерение характеристик железнодорожного полотна с помощью измерительной системы, построенной на базе микромеханических акселерометров / В. В. Алексеев, А. М. Боронахин, И. В. Калякин, В. С. Коновалова, Л. Н. Подгорная // Приборы. 2011. № 12. С. 22.
6. Классификация дефектов рельсов НТД/ЦП-1-93. Каталог дефектов рельсов НТД/ЦП-2-93. Признаки дефектных и остродефектных рельсов НТД/ЦП-3-93. Утверждены МПС РФ 22.03.1993.
7. Пат. РФ № 129217. Оптическая система для измерения взаимного положения подрессоренной тележки и кузова вагона / А. М. Боронахин, В. Ю. Венедиктов, А. В. Горелая и др. Опубл. 20.06.2013. Бюл. № 17.

V. V. Alekseev, P. G. Korolev, D. Yu. Larionov
Saint-Petersburg state electrotechnical university «LETI»

M. N. Shilov
JSC «Radioavionika» (Saint-Petersburg)

CONCEPT OF BUILDING A SYSTEM OF DYNAMIC MONITORING OF RAILWAY

The concept of building a system of dynamic monitoring of railway, assuming its installation on any railway car is considered. The algorithm allowing complexed information from the sensors of the system for the purpose of increase of accuracy of diagnostics of rails is offered.

Micromechanical module, railway, strapdown inertial navigation system