

УДК 656.2, 517.5

Н. И. Куракина

*Санкт-Петербургский государственный электротехнический университет "ЛЭТИ" им. В. И. Ульянова (Ленина)*

## Геоинформационная поддержка системы мониторинга железнодорожного транспорта

*Рассматриваются вопросы создания единого геоинформационного пространства инфраструктуры железнодорожного транспорта, включающего географическую, линейную и скоростные модели железнодорожных путей, а также модели объектов инфраструктуры железной дороги с их пространственными и описательными характеристиками. На основе оценки состояния рельсовой колеи и технических сооружений осуществляется построение режимных карт для выработки рекомендаций по скоростному режиму на участке обращения локомотива, индикации предаварийного и аварийного состояний с целью повышения эффективности и обеспечения безопасности на железной дороге.*

### Мониторинг, геоинформационная модель, режимные карты, железнодорожный транспорт, объекты железной дороги

Мониторинг железнодорожного транспорта – это постоянное наблюдение за его состоянием по множеству фиксированных параметров. Система мониторинга должна отслеживать каждую неисправность пути со всеми его сооружениями и устройствами. Их техническое состояние непрерывно ухудшается под воздействием проходящего подвижного состава и природных факторов.

Мониторинг транспортных сетей возложен на технические службы. Многие из задач, которые решают эти службы, имеют геоинформационную составляющую [1]–[3]: построение плана и профиля пути, поперечных разрезов земляного полотна, ремонт и обслуживание объектов, проектирование строительства; составление планов работ; прогнозирование аварийных ситуаций и т. д. Перечисленные задачи пока в основном решаются устаревшими методами, которые уже не обеспечивают требуемого качества. Планы и профили пути, как правило, составляются вручную в бумажном виде, обновление карт и схем осуществляется крайне редко, данные о состоянии большинства объектов не систематизированы. Такая ситуация осложняет задачу управления инфраструктурой дороги.

Целью данной статьи является создание геоинформационной модели мониторинга железнодорожного транспорта для оценки состояния пути и технических сооружений, отображения обста-

новки и выработки рекомендаций по скоростному режиму на участке обращения локомотива.

Прежде чем оценивать качество пути, целесообразно провести классификацию железнодорожных объектов с описанием их характеристик [4].

Согласно ст. 2 Федерального закона «О железнодорожном транспорте в РФ» от 10 января 2003 г. № 17-ФЗ, инфраструктура железнодорожного транспорта общего пользования – технологический комплекс, включающий в себя железнодорожные пути общего пользования и другие сооружения; железнодорожные станции, устройства электроснабжения, сети связи, системы сигнализации, централизации и блокировки, информационные комплексы и систему управления движением и иные обеспечивающие функционирование этого комплекса здания, строения, сооружения, устройства и оборудование.

Таким образом, к путевому хозяйству железнодорожного транспорта относятся собственно путь со всеми его сооружениями и устройствами, комплекс производственных подразделений и хозяйственных предприятий, предназначенных для обеспечения бесперебойной работы железнодорожного пути, и искусственные сооружения. Искусственные сооружения обеспечивают возможность пересечения железной дорогой водных преград, других железнодорожных линий, автодорог, глубоких ущелий, горных хребтов, застроенных городских территорий, а также безопасный пере-

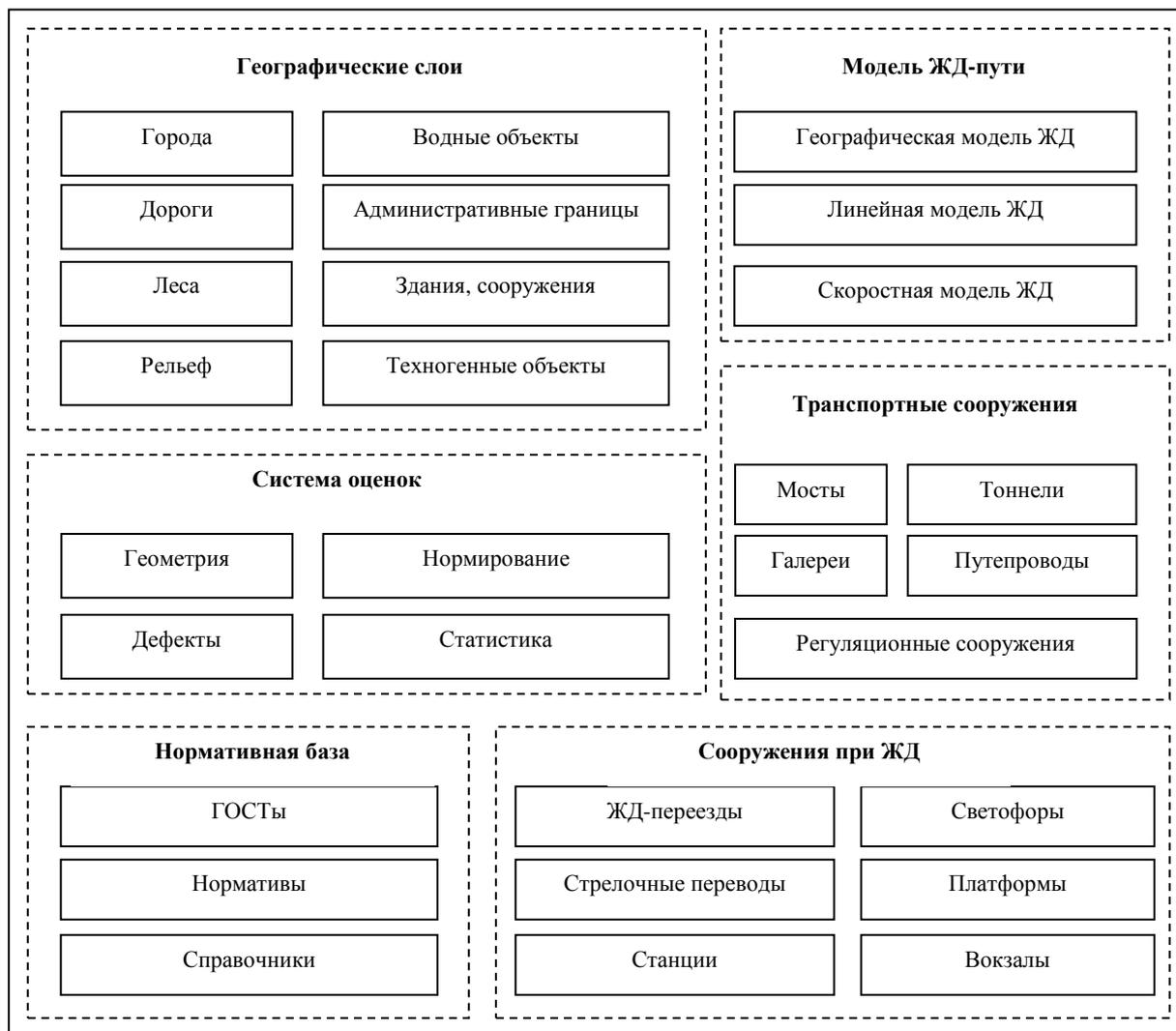


Рис. 1

ход людей через пути и устойчивость земляного полотна в сложных геологических и гидрологических условиях. К искусственным сооружениям относятся мосты, трубы, тоннели, подпорные стены, регуляционные сооружения, галереи, селеспуски и др. Структурными подразделениями путевого хозяйства являются участки обращения локомотива и дистанции пути.

Состав геоинформационной модели инфраструктуры железнодорожного транспорта представлен на рис. 1.

**Географическая модель железнодорожного пути** является базовой основой системы мониторинга [5] и представляет собой слой линейных объектов в географической системе координат со следующими характеристиками:

$$RW\_Road = \{Ident\_RW, Cat\_RW, Cod\_Dist, Distanse, Type\_RW, Type\_Rail, Track\_W\},$$

где *Ident\_RW* – идентификатор участка обращения локомотива; *Cat\_RW* – категория дороги; *Cod\_Dist* –

код дистанции пути; *Distanse* – описание дистанции пути; *Type\_RW* – количество путей; *Type\_Rail* – тип рельса; *Track\_W* – ширина колеи.

**Линейная модель железнодорожного пути** создается на основе географической модели. В линейной модели участки пути (фрагменты) имеют линейное измерение (в метрах) от начальной точки (начала участка обращения локомотива). Модель построена таким образом, что каждый отдельный фрагмент имеет код (идентификатор маршрута), состоящий из трех двузначных цифр. При разветвлении железнодорожного пути начинается нумерация разветвления. В случае разветвления внутри разветвления наращивается отсчет следующий группы цифр. При такой нумерации фрагментов модель может включать разветвления двух уровней с количеством фрагментов не более 99, что вполне достаточно для участка обращения локомотива. Каждый фрагмент модели описывается следующим вектором характеристик:

$$RW\_Traffic = \{Ident\_RW, Ident\_PRoute, L\_Marsh\},$$

где  $Ident\_RW$  – идентификатор участка обращения локомотива;  $Ident\_PRoute$  – идентификатор фрагмента пути;  $L\_Marsh$  – длина фрагмента пути.

Пример линейной модели участка железной дороги «Горячий ключ–Адлер» показан на рис. 2.

Из фрагментов линейной модели железнодорожного пути формируется маршрут движения локомотива. Он представляет собой определенный (конкретный) путь движения локомотива, реализованный в виде линейного объекта, сопровождаемый следующим вектором характеристик:  $RW\_Marshrut = \{Ident\_RW, Ident\_Route, L\_Route\}$ , где  $Ident\_RW$  – идентификатор участка обращения локомотива;  $Ident\_Route$  – идентификатор маршрута;  $L\_Route$  – длина маршрута.

**Скоростная модель** режимов движения локомотива представляет собой таблицу линейных событий, накладываемую на маршрут движения локомотива, и имеет следующую структуру:

$$RoteProperties = \{Ident\_RW, Ident\_Route, RouteProperty, Ident\_SR, CoordinateFirst, CoordinateEnd, Value, Date, Base\_Speed\},$$

где  $Ident\_RW$  – идентификатор участка обращения локомотива;  $Ident\_Route$  – идентификатор маршрута;  $RouteProperty$  – тип маршрута;  $Ident\_SR$  – идентификатор участка скоростного режима;  $CoordinateFirst$  – начало участка скоростного режима;  $CoordinateEnd$  – конец участка скоростного режима;  $Value$  – установленная допустимая скорость;  $Date$  – дата установки скорости;  $Base\_Speed$  – базовая скорость на участке.

**Объекты инфраструктуры железной дороги** делятся на сооружения при железной дороге и транспортные сооружения. Объекты сгруппированы в классы, имеющие одинаковые описательные характеристики.

Сооружения при железной дороге включают платформы, станции, вокзалы, железнодорожные переезды, стрелочные переводы и светофоры. Транспортные сооружения включают мосты, тоннели и путепроводы. Для всех перечисленных классов объектов разработана структура атрибутивной информации, включающая основные характеристики, оказывающие влияние на состояние железной дороги.

**Система анализа** включает оценку состояния рельсового пути, объектов железной дороги, транспортных сооружений.

**Оценка состояния рельсового пути** определяется в результате обработки данных путеизмерительной системы [6]. Параметрами, характеризующими состояние геометрии рельсовой колеи, по которым устанавливаются ограничения допускаемой скорости или закрытие движения поездов, являются: ширина колеи; взаимное положение рельсовых нитей; просадки рельсовых нитей; положение пути в плане (рихтовка) и т. д. Отступление контролируемых параметров от нормативных показателей говорит о наличии дефекта. В зависимости от типов и величин дефектов формируется балльная оценка состояния рельсового пути:

$$O_p = \{O_{p1}, O_{p2}, O_{p3}\},$$

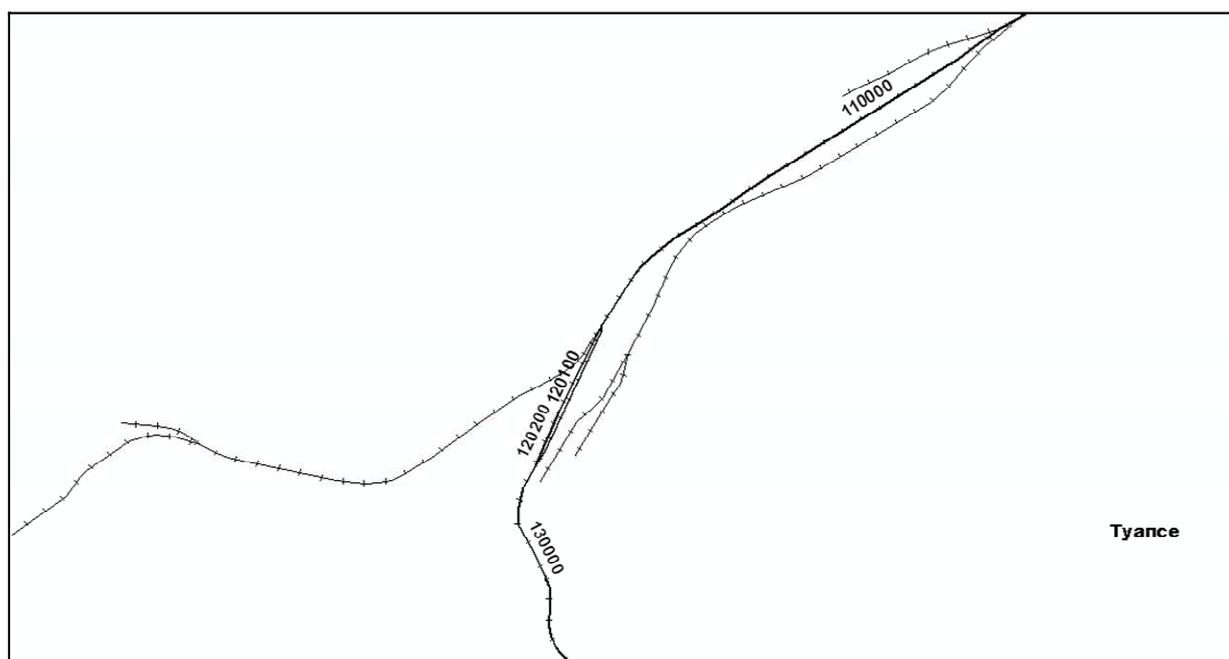


Рис. 2

где  $O_{p1}$  – отличное и хорошее состояние;  $O_{p2}$  – удовлетворительное состояние;  $O_{p3}$  – неудовлетворительное состояние.

Для определения значения оценки в ГИС для анализируемого участка создается таблица точечных событий, содержащая балльную оценку состояния рельсового пути по каждому обнаруженному дефекту, следующего вида:

$$Event\_point = \{Ident\_RW, Data, Distans, Defect, Discribe\},$$

где  $Ident\_RW$  – идентификатор участка обращения локомотива;  $Data$  – дата обнаружения дефекта;  $Distans$  – расстояние от начальной точки маршрута – линейная координата;  $Defect$  – балльная оценка дефекта;  $Discribe$  – вид дефекта.

Объединение оценок состояния рельсового пути по обнаруженным дефектам осуществляется по участкам скоростной модели режимов движения локомотива согласно выражению вида

$$O_{pi}(t) = \max_{j=1,N} O_{pij}(t),$$

где  $O_{pij}(t)$  – балльная оценка  $j$ -го дефекта на  $i$ -м участке модели режимов скоростей движения локомотива;  $N$  – количество обнаруженных на участке дефектов;  $t$  – фактор времени.

**Оценка состояния объектов железной дороги** определяется в результате осмотров и проверок. При этом устанавливается, оказывают ли выявленные дефекты влияние на безопасность движения поездов или необходимо обратить повышенное внимание на состояние этих объектов. Оценку осуществляют путевые обходчики и специалисты ремонтных служб железной дороги. Результаты проверок заносятся в базу данных. Каждый объект железной дороги характеризуется вектором параметров:

$$RW\_Transport\_Influence = \{Ident\_RW, Type, Discribe, Objectld, Influence, DateUpdate\},$$

где  $Ident\_RW$  – идентификатор участка обращения локомотива;  $Type$  – тип объекта железной дороги (железнодорожный переезд, стрелочный перевод, транспортные сооружения, сооружения при железных дорогах);  $Discribe$  – описание;  $Objectld$  – идентификатор объекта;  $Influence$  – оценка состояния (показателя воздействия);  $DateUpdate$  – дата оценки.

Оценка состояния объектов железной дороги в соответствии с нормативными документами осуществляется по трехбалльной системе:

$$O_c = \{O_{c1}, O_{c2}, O_{c3}\},$$

где  $O_{c1}$  – нормальное состояние;  $O_{c2}$  – требует внимания;  $O_{c3}$  – требует ремонта.

Объединение оценок состояния объектов железной дороги по обнаруженным дефектам осуществляется по участкам скоростной модели режимов движения локомотива согласно выражению вида

$$O_{ci}(t) = \max_{j=1,N} O_{cij}(t),$$

где  $O_{cij}(t)$  – балльная оценка объектов  $j$ -го типа на  $i$ -м участке скоростной модели режимов движения локомотива;  $N$  – количество типов объектов железной дороги.

**Результирующая оценка** осуществляется по участкам скоростной модели железнодорожного пути в соответствии с матрицей событий [7]:

$$A_{ik} = \{O_{pi} \cup O_{ci}\}, \quad k = 1.8.$$

Матрица событий устанавливает соответствие между значениями оценок и степенью аварийности  $i$ -го участка скоростной модели движения локомотива. Предлагается использовать 8 степеней аварийности для каждого участка:

$A_1$  – отличное состояние;

$A_2$  – хорошее состояние с незначительной степенью опасности;

$A_3$  – хорошее состояние с низкой степенью опасности;

$A_4$  – удовлетворительное состояние с низкой степенью опасности;

$A_5$  – удовлетворительное состояние со средней степенью опасности;

$A_6$  – удовлетворительное состояние с высокой степенью опасности;

$A_7$  – неудовлетворительное состояние с передвижением с минимальной скоростью в чрезвычайных случаях;

$A_8$  – неудовлетворительное состояние с запретом движения.

Для каждой ситуации  $A_k$  экспертом вырабатываются рекомендации по корректировке скорости движения локомотива в соответствии с «Инструкци-

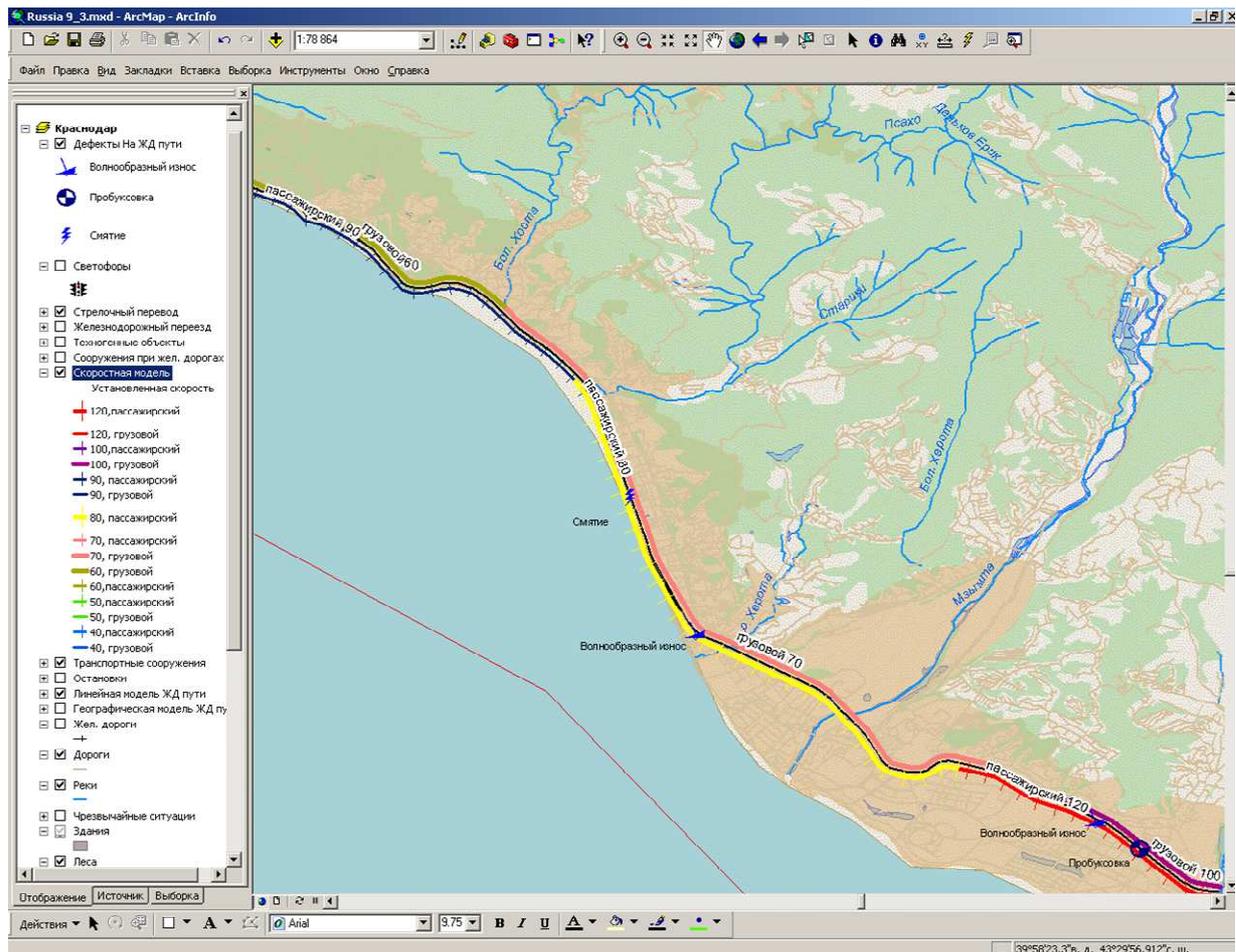


Рис. 3

ей по текущему содержанию железнодорожного пути» (утв. МПС РФ 01.07.2000 № ЦП-774).

По полученным данным осуществляется построение режимных карт рекомендованных скоростей для заданного участка обращения локомотива (рис. 3).

Разработанная на базе ГИС ArcGIS ArcInfo геоинформационная модель мониторинга обеспечивает систематизацию, анализ и представление

на карте текущего состояния железнодорожного пути и технических сооружений; выработку рекомендаций по скоростному режиму на участке обращения локомотива по результатам анализа; индикацию предаварийного и аварийного состояния пути и объектов железной дороги, что позволяет быстро принимать решения и реагировать на нештатные ситуации.

## СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Андрианов В. ГИС и транспорт // ArcReview. 2007. № 3 (42). С. 24–27.
2. Розенберг И. Н. Геоинформационный мониторинг транспортных объектов // Науки о Земле. 2012. № 3. С. 20–25.
3. Розенберг И. Н. Геоинформационные системы на железнодорожном транспорте // Науки о Земле. 2012. № 4. С. 86–90.
4. Формирование единого геоинформационного пространства / С. В. Духин, М. М. Железнов, С. И. Матвеев, Д. С. Монайло // Автоматика, связь, информатика. 2008. № 9. С. 11–13.
5. ГИС мониторинга транспортных сетей / В. В. Алексеев, Н. И. Куракина, Н. В. Орлова, А. А. Минина // ArcReview. 2014. № 2 (45). С. 7–9.
6. Система малогабаритная инерциальная диагностики рельсового пути модернизированная (СМИД РП-М) / Руководство по эксплуатации ЖРГА. 401163РЭ. СПб.: Изд-во СПбГЭТУ «ЛЭТИ», 2011. 33 с.
7. Информационно-измерительные и управляющие системы мониторинга состояния распределенных технических и природных объектов / В. В. Алексеев, П. Г. Королев, Н. И. Куракина, Н. В. Орлова // Приборы. 2009. № 10. С. 28–42.

N. I. Kurakina  
Saint-Petersburg state electrotechnical university «LETI»

## GEOINFORMATION SUPPORT OF RAILWAY MONITORING SYSTEM

*The problems of creating a common geoinformation space of the railway infrastructure including geographic, linear and high-speed models of railway lines, models of objects of railway infrastructure with their spatial and descriptive characteristics are considered. Building of regime maps is done on the basis of the assessment of technical facilities and the state of the track in order to make recommendations for high-speed mode, pre-emergency and alarm states indication to increase efficiency and insure security on the railway.*

**Monitoring, GIS model, regime maps, rail transport, railway facilities**

УДК 531.113

Дао Ван Ба, Ле Ван Чанг, Р. В. Шалымов  
Санкт-Петербургский государственный электротехнический  
университет "ЛЭТИ" им. В. И. Ульянова (Ленина)

## Динамическая калибровка триады акселерометров на двухосном стенде

*Рассмотрен динамический режим калибровки триады микромеханических акселерометров (ММА) с учетом отстояния триады от центра качания, задаваемого двухосным стендом. Предложенный алгоритм позволяет оценить не только коэффициенты математической модели погрешности акселерометров, а также место расположения триады акселерометров в закрытом корпусе инерциального измерительного модуля. Приведены результаты калибровки триады ММА.*

### Микромеханический акселерометр, двухосный испытательный стенд, динамический режим калибровки, оптимальный фильтр Калмана

Предлагается динамический метод калибровки триады акселерометров. При этом триада акселерометров установлена на стенде, совершающем колебания по двум перпендикулярным осям в поле гравитационной силы Земли. Воздействие на акселерометры, в зависимости от пространственного положения триады, может изменяться в диапазоне ускорения свободного падения  $\pm g$ . В данной статье особое внимание уделяется составляющей воздействия на акселерометр, вызванной тем, что триада акселерометров располагается не в центре качания. При качании вокруг обеих осей стенда триада акселерометров участвует в сложном движении, в результате чего, помимо проекции ускорения свободного падения, на оси связанной системы координат имеется и проекция ускорения, вызванного движением триады вокруг центра качания.

На рис. 1 изображены стенд и установленный на нем инерциальный измерительный модуль (ИИМ). Введем следующие системы координат (рис. 2):

$O_S x_S y_S z_S$  – система координат, связанная с основанием стенда;

$O_S x_1 y_1 z_1$  – система координат, связанная с большой осью стенда;

$O_S x_2 y_2 z_2$  – система координат, связанная с малой осью стенда (с планшайбой);

$O_{хуз}$  – приборная система координат, связанная с испытуемой триадой акселерометров.

Место расположения триады акселерометров в системе координат  $O_S x_2 y_2 z_2 - (x_2, y_2, z_2)$ .

$\dot{\lambda}_1, \dot{\lambda}_2$  – угловые скорости стенда по наружной и внутренней осям.

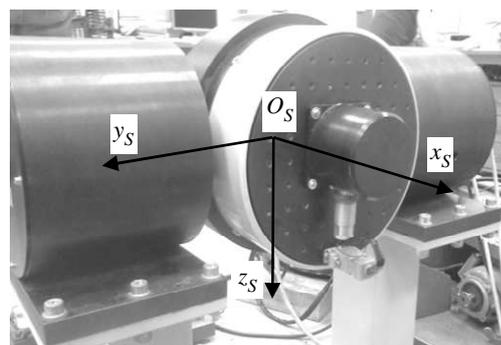


Рис. 1