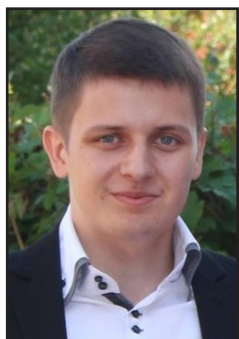




Реперная система как способ геодезического обеспечения пути



Александр ДЕНИСОВ
Alexander V. DENISOV

Екатерина РЫЖИК
Ekaterina A. RYZHIK



Денисов Александр Викторович – аспирант кафедры «Проектирование и строительство железных дорог» Московского государственного университета путей сообщения (МИИТ), Москва, Россия.

Рыжик Екатерина Александровна – кандидат технических наук, доцент МИИТ, Москва, Россия.

Reference System as a Technique of Track Geodetic Support Measure
(текст статьи на англ. яз. – English text of the article – p. 212)

Статья посвящена методу геодезического обеспечения текущего содержания железнодорожного пути, связанному с применением реперной системы. Авторы дают толкование понятиям и функциям, причастным к системе, оценивают структуру и содержание, порядок и параметры измерений в пространственной среде исследуемого объекта. Созданная реперная система выступает в какой-то степени альтернативой геодезическим работам традиционного типа.

Ключевые слова: железнодорожный путь, реперные системы, геоинформация, спутниковые технологии, контроль пути, безопасность, профилактика рисков.

Возможность применения координатно-временной информации, получаемой с помощью глобальных навигационных спутниковых систем, в различных функциональных приложениях задач проектирования, строительства, содержания, ремонта и реконструкции железнодорожных магистралей активно прорабатывается во всех государствах, развивающих железнодорожный транспорт, включая Германию, Францию, Швейцарию, США, Канаду, Китай [1]. На основе описания железнодорожного пути как трехмерного пространственного объекта создаются соответствующие технологии, при этом в качестве рабочего инструмента выбираются чаще всего цифровые модели пути (ЦМП) и геопространственные базы данных (ГБД), с помощью которых оценивается текущее состояние линий, даются рекомендации по предупреждению и устранению неисправностей.

Использование спутниковых технологий в задачах навигации и геодезии позволяет выйти на новый качественный уровень при формировании систем высокоточного координатного обеспечения единого геоинформационного пространства

железнодорожного транспорта (ВКС) [2].

ВКС — многофункциональная автоматизированная информационная система сбора, обработки, хранения и предоставления зарегистрированным пользователям координатной информации о местоположении стационарных и подвижных объектов железнодорожного транспорта. Главные ее цели — обеспечение безопасности высокоскоростного движения, сокращение трудовых, материальных затрат и времени на инженерные изыскания, проектирование, строительство и эксплуатацию железных дорог, приоритет эффективности железнодорожных пассажирских перевозок.

Ключевой момент темы исследования: основой ВКС служит специальная реперная система (СРС) — высокоточная геодезическая сеть, обладающая набором очень ответственных, ко многому обязывающих функций, ориентированных на реализацию:

- производства всех съемочных и разбивочных геодезических работ, возникающих при проектировании, строительстве и текущем содержании железных дорог;
- опорной геодезической сети при межевании земель и создании кадастра железных дорог в пределах полосы отвода;
- опознавательных знаков при аэрокосмическом мониторинге и дистанционном зондировании железных дорог и сооружений;
- геометрической основы для расчета и корректировки общепринятой для линейных сооружений координатной системы пикетажа и ведения автоматизированных систем инвентаризации и паспортизации.

От пунктов СРС проектная геометрия будет передаваться на элементы пути либо с помощью традиционных измерительных средств, либо путем автоматизированной привязки показаний измерительных систем выправочных машин и механизмов к рабочим реперам.

Когда функции СРС предполагают обслуживание железнодорожного пути как трехмерного пространственного объекта, то стоит уточнить два принципиальных момента.

Во-первых, что *в классическом понимании (удобном и в проекции на геопространство железных дорог) репер — это совокуп-*

ность трех векторов с общим началом, не лежащих в одной плоскости (на одной прямой) и взятых в определенном порядке.

Во-вторых, что используемые ныне реперные точки (ориентиры порядка) применительно к железнодорожному пути как трехмерному пространственному объекту вполне достаточны для функций проектирования, контроля и прочих геоинформационных потребностей.

Формулируя так смысл лежащих в подтексте реперных технологий целевых предназначений, мы включаем СРС в процессы более высокого уровня. И делаем это, полагаем, правомерно и обоснованно.

Функциональное назначение, это стоит подчеркнуть особо, должно соотноситься с возможностями реперной системы. И она по степени точности отвечает, как подтверждают исследования и личные наблюдения, потребностям геоинформационных систем железных дорог. А насколько это существенно, убеждает сама практика.

Неточности в плановом и высотном положении точек пути, приводящие к появлению длинных неровностей, отрицательно сказываются на плавности хода подвижного состава при высоких скоростях движения и приводят к преждевременному расстройству колеи, а с ним и к снижению безопасности, риску катастроф. Возникновение длинных неровностей обусловлено выправкой колеи с привязкой от соседнего пути и работой выправочных машин исключительно по методу сглаживания, необеспечивающему постановку пути в проектное положение. Для повышения точности определения планового и высотного положения железнодорожного пути как раз и используют специальные реперные системы.

По опыту европейских железных дорог [3] на этапе проектирования и строительства новых линий формирование проектного решения осуществляется в координатной системе специальной реперной системы железнодорожного участка, на этапе строительства или реконструкции путь в заданное положение устанавливается от реперных пунктов. В ходе эксплуатации обеспечивается поддержание пути в проектном варианте на основе контроля его положения от пунктов реперной системы.



Рис. 1. Схема структуры специальной реперной системы.

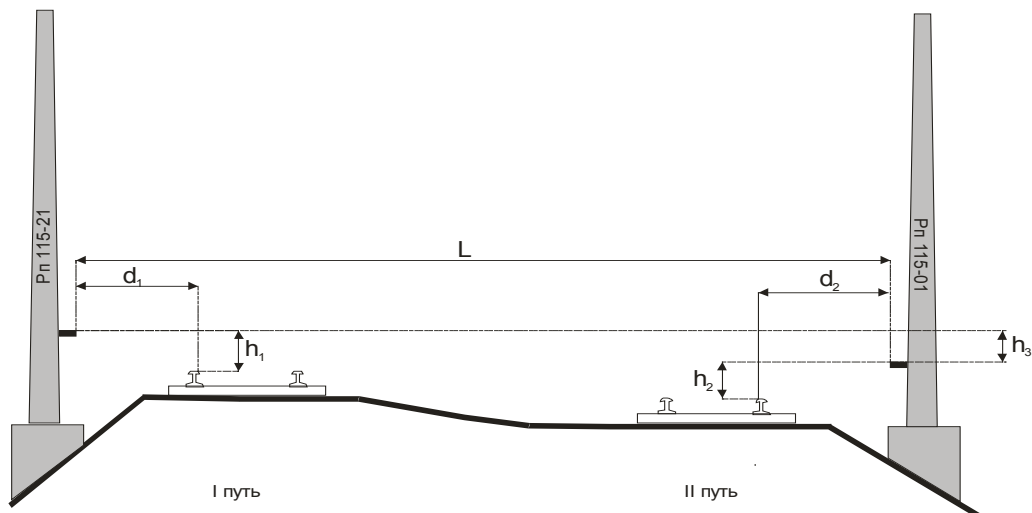
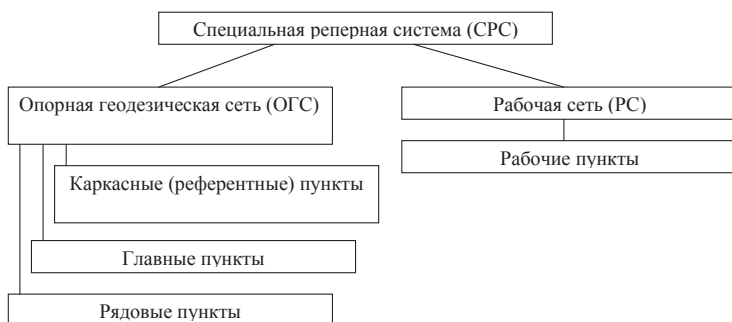


Рис. 2. Схема измеряемых параметров парных пунктов рабочей сети СРС:
 d_1 и d_2 – горизонтальные расстояния от рабочих реперов до рабочей грани ближайшего рельса; h_1 и h_2 – превышение между рабочими реперами и поверхностью катания головок ближайших рельсов; h_3 – превышение между парными рабочими реперами; L – горизонтальное расстояние между парными рабочими реперами.

Реперная система включает в себя опорную геодезическую сеть (ОГС) и рабочую сеть (РС). Примерная схема структуры СРС представлена на рис. 1. При этом опорная сеть создается спутниковыми методами и включает три типа пунктов: каркасные (референтные), расположенные через 10–50 км; главные (через 2–3 км попарно) и рядовые (через 250–500 м). Далее она может развиваться проложением традиционных магистральных полигонометрических ходов методом электронной тахеометрии или с применением современных спутниковых технологий. Второе предпочтительнее в связи с более высокой точностью в плане и производительностью измерений.

Целесообразно иметь вдоль магистрали сеть каркасных пунктов спутниковой сети, расположенных через 30–50 км друг от друга. Они будут служить исходными для опорной сети. Построение последней мож-

но выполнить либо путём ступенчатого ходами электронной тахеометрии спутниковой сети узловых пунктов, расположенных через 1–5 км, либо полностью на основе спутниковых измерений.

Рабочие реперы закладываются в тело опор контактной сети. В железобетонных опорах круглого сечения устраиваются отверстия диаметром 7,8 мм глубиной 25 мм, куда запрессовываются металлические втулки соответствующего размера. Во втулку при измерениях ввинчивается специальный репер. После проведения измерений репера извлекаются, а отверстия втулок обрабатываются консистентной смазкой. В металлических опорах контактной сети отверстие делается чуть большим – 8 мм, куда при измерениях устанавливается репер и закрепляется гайкой. Возможно устройство пунктов рабочей сети в элементах устойчивых сооружений (здания, платформы и т. д.), если они на-



Рис. 3. Фиксация линий тангенсов реперами.

ходятся в позиции, удобной для мониторинга пути [4].

Пункты рабочей сети (РС) закладываются, как правило, в опорах контактной сети на 10–20 см выше уровня головки рельса. На прямых участках пункты располагаются через 100–140 м, а на кривых — через 50–70 м. На двухпутных и многопутных участках пункты РС ставят парами напротив друг друга, чтобы контролируемые пути находились между ними. В исключительных ситуациях допускается использование одиночных пунктов РС для контроля нескольких путей. Измеряемые расстояния и превышения, а также схема расположения пунктов и путей для двухпутной линии показаны на рис. 2.

В целях сокращения затрат труда и материалов пункты опорной геодезической сети рекомендуется располагать в фундаментах устойчивых сооружений, находящихся в полосе отвода или вблизи неё. Значительная часть референтных пунктов может быть совмещена с пунктами государственных геодезических сетей, имеющимися вдоль всех железнодорожных магистралей. Остальные пункты каркасной сети можно закреплять реперами грунтового типа. Наиболее часто пункты ОГС располагают в фундаментах оттяжек опор контактной сети, используя для этого металлические закладные детали.

Основная функция опорной геодезической сети — мониторинг длинных неровностей, а основная функция рабочей сети — мониторинг коротких неровностей геометрии железнодорожного пути. Существуют проекты упрощенных реперных систем, которые включают в себя создание только опорной геодезической сети. При наличии второго варианта ликвидация длинных неровностей и постановка пути в проектное положение могут быть выполнены двумя современными методами [3],

требуемыми от исполнителей высокой квалификации:

- методом электронной тахеометрии, обеспечивающей точность в плане до 10 мм и по высоте до 20 мм. Производительность бригады из четырех человек 3–4 км;
- с помощью комплекта из двух двухчастотных геодезических приёмников в режиме «стой—иди» с той же точностью и производительностью.

При наличии полноценной реперной сети необходимая для ликвидации длинных неровностей и постановки пути в проектное положение точность достигается различными способами, в том числе не требующими высокой квалификации:

- способом перпендикуляров от хорд, стягивающих соседние репера;
- способом стрел изгиба от хорд длиной 20 м и при автоматизированной реализации способа стрел в путеизмерительных вагонах и выправочных машинах [5].

Способ стрел при привязке точек съемки к реперным через 50–75 м обеспечивает максимальную точность взаимного положения соседних точек хорды порядка 3 мм. Непременным условием достижения высокой точности съемки всеми способами является переход к координатной форме расчета реконструкции пути.

При строительстве и текущем содержании железнодорожного пути могут возникать некоторые проблемы, связанные с оптимизацией положения пути после проведения геодезических съемок.

В процессе выполнения полевых геодезических работ, как правило, не координируют вершины углов поворота трассы, решая задачу оптимизации по минимуму суммы квадратов величин рихтовок (сдвижек) пути. Аппроксимация положения пути по названному принципу приводит к тому, что оптимальная кривая располагается произвольно относительно



биссектрисы угла поворота трассы, центр кривой не лежит на ней, нарушаются все геометрические параметры кривой, становится неопределенным положение на ней всех ее основных точек и расстояний между ними.

Мнение специалистов в этом случае однозначно: при реализации вышеизложенной технологии на местности существенно затрудняется сопряжение переходных кривых с круговыми, и в конечном счете нарушается стабильность железнодорожного полотна.

Для того, чтобы подобного не произошло, потребуется введение дополнительной реперной системы, главными точками которой будут вершины углов поворота трассы. Тем самым она будет отличаться от той, при которой была построена железная дорога.

Главные точки должны быть закреплены на местности долговременными центрами и опознавательными знаками. Поверхность не может быть ниже уровня земляного полотна. Если вершина угла недоступна для ее закрепления на местности, то вместо нее закладывается два центра на линиях тангенсов (рис. 3) [6].

Главные реперные точки сохраняются на весь период эксплуатации железной дороги, и линии, соединяющие их, навсегда сохраняют проектное положение оси железнодорожного пути на местности.

Если при подготовке к ремонту дороги соблюдаются геометрические условия проекта, то железнодорожный путь перестает «блуждать» по земляному полотну от одного ремонта к другому. Условия минимизации величин рихтовок при аппроксимации, например, круговых кривых без учета их основных геометрических параметров (углов поворота трассы, расположения центров круговых кривых на биссектрисах углов поворота и др.), может привести к асимметрии кривой относительно угла поворота, что усложняет процесс сопряжения ее с переходными кривыми. Способен измениться и угол поворота трассы.

Помимо главных точек реперной системы требуется установка на местности дополнительных реперов на прямолинейных участках трассы, которые можно

закрепить на опорах контактной сети. Расстояния от них до оси пути без особых проблем определяется методом бокового нивелирования [6].

Частота установки реперных точек на закруглениях пути зависит от величины радиуса круговой кривой (чем меньше радиус, тем плотнее), но не реже, чем при детальной разбивке кривых. На данном этапе и происходит привязка будущей кривой к реперам. Самым простым способом решения этой задачи является координирование центров реперов и расположенных напротив них точек на кривой с последующим вычислением горизонтальных расстояний между ними.

При строительстве новой железной дороги реперную сеть необходимо создавать в процессе восстановления дорожной трассы, которая в ходе предпроектных изысканий закрепляется в натуре.

Сложнее создавать реперную сеть на уже существующей железной дороге, поскольку в процессе эксплуатации утрачиваются почти все вершины углов поворота трассы и появляются дополнительные углы на протяженных прямолинейных участках.

Авторы рекомендуют создавать реперную сеть на основе информации, полученной в результате подробной съемки существующего пути и последующего трассирования с использованием расчетных проектных углов и расстояний.

Начинать работу приходится с восстановления вершин углов поворота трассы. Отдельные вершины, на которых не сохранились знаки крепления, можно попытаться найти промерами от сохранившихся местных предметов согласно абрисам их привязки или прямой засечкой по проектным углам из двух соседних вершин трассы.

Решение задачи возможно и по материалам съемки (координатам, фиксирующих кривую точек), но с предварительно закрепленных на местности (в процессе съемки) прямолинейных отрезков (линий тангенсов), направленных на смежные вершины. Расстояния между точками крепления прямых должны быть максимально допустимыми.

Затем находятся оптимальные (по минимуму сдвигов) параметры кривой, а также координаты вершины угла и сам угол поворота трассы. После выноса вершины угла поворота в натуру остается решить вопрос, может ли она являться главной реперной точкой (по расположению на местности) или ее необходимо заменить двумя реперами по линии тангенсов [6].

Наиболее важным моментом на данной стадии восстановления трассы становится обоснованный выбор линии тангенсов, фиксирующих направления прямолинейных участков пути, особенно если они по проекту были весьма протяженными, а в результате многочисленных реконструкций и ремонтов получили дополнительные повороты, пусть и на незначительные углы. Поэтому перед фиксацией прямых надо обязательно проанализировать материалы съемок перед последними ремонтными работами, чтобы спрямить или уменьшить число поворотов, соблюдая установленные габариты.

Созданная реперная система может позволить в дальнейшем исключить геодезические работы по текущему содержанию железнодорожного пути, сводя контроль его планового положения к промерам расстояний от реперов. Они же (промеры) должны войти в проекты реконструкции и ремонта пути. Если определены высоты реперных точек, то по ним можно контролировать и высотное положение головок рельсов, используя механический способ нивелирования.

ЛИТЕРАТУРА

1. Волков А. Н., Гельфгат А. Г., Воронков А. А. На пике инновационных технологий // Евразия Вести. — 2012. — № 10.
2. Матвеев С. И. Инженерная геодезия и геоинформатика: Учебник для вузов. — М.: МИИТ, 2012. — 484 с.
3. Духин С. В., Железнов М. М., Матвеев С. И. Формирование единого геоинформационного пространства российских железных дорог / Евразия Вести. — 2008. — № 7.
4. Резницкий Ф. Е., Салтынская Е. Ю. Использование спутниковых навигационных систем при построении специальных геодезических опорных сетей для железнодорожного транспорта: Методическое

пособие к самостоятельной работе студентов. — Екатеринбург: УрГУПС, 2008. — 38 с.

5. Медведев Р. С., Бахрачева Ю. С. Постановка железнодорожного пути в проектное положение с применением координатного способа при организации высокоскоростного движения // Вестник Волгоградского государственного университета. — 2013. — № 1. — С. 91–93.

6. Добрынин Н. Ф., Левицкий А. А. Новый метод определения геометрических характеристик железнодорожного пути по геодезическим данным // Вестник РГУПС. — 2011. — № 1(41). — С. 146–152.

7. Резницкий Ф. Е., Ерохина Е. Ю., Абрамов Р. Г. О создании реперной системы на железных дорогах // Транспортное строительство. — 2001. — № 12. — С. 22–24.

8. Специальная реперная система контроля состояния железнодорожного пути в профиле и плане: Технические требования. — М.: ВНИИЖТ, 1998. — 29 с.

9. Матвеев С. И., Коугия В. А., Цветков В. Я. Геоинформационные системы и технологии на железнодорожном транспорте // Под ред. С. И. Матвеева. — М.: УМК МПС России, 2002. — 225 с.

10. Корженевич И. П. Новые способы съемки железнодорожных кривых // Вестник Днепропетровского национального университета железнодорожного транспорта. — 2006. — С. 53–56.

11. Корженевич И. П. Специальная реперная система для контроля положения пути в плане // Вестник Днепропетровского национального университета железнодорожного транспорта. — 2008. — С. 69–71.

12. Самратов У. Д., Сакович Л. А., Кривдин Д. Г. О точности определения геометрических параметров железнодорожного пути с помощью АПКУ // Геопроект. — 2007. — № 6. — С. 28–32.

13. Стратегия развития железнодорожного транспорта в РФ до 2030 года: постановление Правительства РФ от 17 июня 2008 г. № 877-р.

14. Добрынин Н. Ф., Левицкий А. А. Роль реперной системы при строительстве и текущем содержании пути // Инженерный вестник Дона. — 2012. — № 2. — С. 142–145.

15. Коугия В. А. Геодезическая сеть для высокоскоростной железнодорожной магистрали // Геодезия и картография. — 1997. — № 1. — С. 12–16.

16. Щербаков В. В. Выправка пути при реконструкции и ремонте железнодорожных путей с использованием ГИС-технологий и ГНСС. — Новосибирск: СибГУПС, 2013. — С. 23–26.

17. Инструкция по нивелированию I, II, III и IV классов. — М.: ЦНИИГАиК, 2004. — 252 с.

18. Киселев М. И., Михелев Д. Ш. Основы геодезии. — М.: Высшая школа, 2003. — 368 с.

19. Цветков В. Я., Кужелев П. Д. Геоинформационные системы и технологии как новый метод изучения транспортных сетей // Геодезия и аэрофотосъемка. — 2002. — № 5. — С. 155–161.

20. Бовшин Н. А., Зубинский В. И., Остач О. М. Совместное уравнивание общегосударственных опорных геодезических сетей // Геодезия и картография. — 1995. — № 8. — С. 6–17.

21. Бойков В. В., Галазин В. Ф., Каплан Б. Л. и др. Опыт создания геоцентрической системы координат ПЗ-90 // Геодезия и картография. — 1993. — № 1. — С. 17–21.

Координаты авторов: **Денисов А. В.** – ADenisov.nv@gmail.com, **Рыжик Е. А.** – CatRyzhik@yandex.ru.

Статья поступила в редакцию 08.09.2015, актуализирована 23.10.2015, принята к публикации 28.11.2015.



REFERENCE SYSTEM AS A TECHNIQUE OF TRACK GEODETIC SUPPORT MEASURE

Denisov, Alexander V., Moscow State University of Railway Engineering (MIIT), Moscow, Russia.
Ryzhik, Ekaterina A., Moscow State University of Railway Engineering (MIIT), Moscow, Russia.

ABSTRACT

The article is devoted to the method of geodetic support of current maintenance of railway track associated with the use of a reference system. The authors give interpretation of concepts and functions

involved in the system, evaluate structure and content, procedure and parameters of measurements in the spatial environment of the object under study. The created reference system is in some kind an alternative to the traditional type of geodetic works.

Keywords: railway, reference systems, geoinformation, satellite technology, track control, safety, risk prevention.

Background. The possibility of using coordinate-temporal information derived from global navigation satellite systems in different functional applications of problems of design, construction, maintenance, repair and reconstruction of railways is actively worked out in all countries, developing rail transport, including Germany, France, Switzerland, USA, Canada, China [1]. Based on the description of a railway track as a three-dimensional spatial object relevant technologies are created, while digital track model (DTM) and geospatial database (GDB) are selected as a tool most often, by which current state of lines is estimated, recommendations are made on prevention and elimination of faults.

The use of satellite technology in navigation and surveying tasks allows to reach a new level of quality in formation of high-precision coordinate support of uniform geoinformation space of railway transport (HCS) [2].

HCS is a multifunctional automated information system for collecting, processing, and storage to the registered users of coordinate information about location of stationary and mobile objects of railway transport. Its main objectives are ensuring safety of high-speed motion, reducing labor and material costs and time on engineering survey, design, construction and operation of railways, the priority of efficiency of rail passenger transportation.

Objective. The objective of the authors is to consider reference system's application in the context of geodetic support of railway tracks.

Methods. The authors use general scientific and engineering methods, comparative analysis, evaluation approach, graph construction, mathematical method.

Results. The key point of the research: foundation of HCS is a special reference system (SRS) – high-precision geodetic network, which has a set of very important, binding functions:

- Production of all surveying and demarkation arising during design, construction and current maintenance of railways;
- Geodetic control network when land surveying and building inventory of railways within ROW;
- Identification marks in processes of aerospace monitoring and remote sensing of railways and structures;
- The geometric basis for calculation and adjustment of the standard for linear structures coordinate system of stationing and maintaining automated systems of inventory and certification.

From points of SRS project geometry will be transmitted on track elements either by using traditional measuring means, or by automated binding

indications of measuring systems of lining machines and mechanisms to working reference marks.

When SRS functions involve maintenance of railway track as a three-dimensional spatial object, it is necessary to clarify two principal points.

Firstly, in the classical sense (convenient and in projections on the geospace of railways) reference mark is a set of three vectors with a common origin, not lying in the same plane (on one line), and taken in a certain order.

Secondly, now used reference points (benchmarks of order) in relation to railway tracks as three-dimensional spatial objects are sufficient for the functions of design, control, and other geographic information needs.

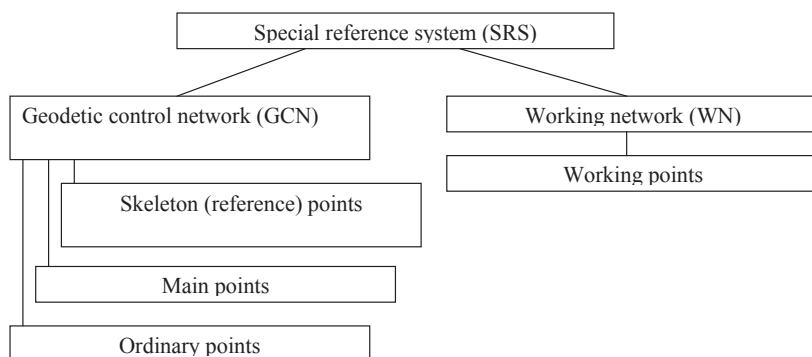
Formulating the meaning of underlying in the subtext reference technologies intended functions, we include SRS in the processes of a higher level. And we are doing this, we believe, rightly and reasonably.

The functional purpose, it should be emphasized especially, should be related to reference system capabilities. And the degree of accuracy meets as confirmed by research and personal observation, needs of geographic information systems of railways. And as far as this is essential, it assures the practice itself.

Inaccuracies in horizontal and vertical position of track points leading to the emergence of long irregularities adversely affect smooth running of rolling stock at high speeds and lead to premature breakdown of the gauge, and with it safety decrease, the risk of accidents. The emergence of long irregularities due to smoothing of the gauge with binding from the adjacent track and the work of lining machines exclusively with smoothing method, not ensuring statement of the track in the design position. To improve accuracy of determining horizontal and vertical positions of the railway track just special reference systems are used.

According to the experience of European railways [3] during the design and construction of new lines the formation of the design decision is made in the coordinate system of a special reference system of the railway section, during construction or reconstruction the track is set to a predetermined position from reference points. During operation the maintenance of the track is ensured as a project version based on the control of its position from points of the reference system.

The reference system includes a geodetic control network (GCN) and a working network (WN). Tentative diagram of SRS structure is shown in Pic. 1. In this case, the support network is created by satellite methods and includes three types of points: skeleton (reference), located in 10–50 km; main (in 2–3 km in pairs) and ordinary (in 250–500 m). Further, it can



Pic. 1. Scheme of structure of special reference system.

develop via laying traditional main polygonometric traverse by the method of electronic tacheometry or with the use of modern satellite technologies. The second is preferred because of higher accuracy in the plan and in terms of measurement productivity.

It is advisable to have along the highway network of framework points of satellite network, located 30–50 km from each other. They will serve as a base-line for the core network. Construction of the last can be done either by thickening strokes of electronic tacheometry of satellite network of nodal points located in 1–5 km, or completely on the basis of satellite measurements.

Working reference marks are laid in the body of support of contact network. In concrete pillars of circular section holes are arranged with diameter of 7,8 mm and depth of 25 mm, where metal sleeves of appropriate size are pressed. In the sleeve during measurements a special reference mark is screwed. After measurements reference marks are extracted and holes of sleeves are processed with axle-grease. In metal supports of contact network the hole is slightly larger – 8 mm, where during measurements a reference mark is set and is screwed. It is possible to arrange points of working network in elements of sustainable structures (buildings, platforms, etc.) if they are in a position comfortable for monitoring the track [4].

Points of working network (WN) are laid usually in catenary supports 10–20 cm above the level of the rail head. On straights sections points are located in 100–140 m, and in curves – in 50–70 m. On double-track and multi-track sections WN points are put in pairs opposite each other, in order that controlled tracks are between them. In exceptional situations it is possible to use single WN points to monitor several ways. The measured distance and elevation, as well as location diagram of points and tracks for a double-track line are shown in Pic. 2.

In order to reduce labor costs and materials points of geodetic control network are recommended to be placed in the foundations of sustainable buildings, located in right-of-way or near it. A significant part of reference points can be combined with points of state geodetic networks, available all along the railway lines. Other points of framing network can be fixed with reference marks of the soil type. The most often points of GCN are located in foundations of pole guys of contact network, using metal inserts.

The main function of geodetic control network is monitoring of long irregularities, and the main function of working network is monitoring of short irregularities of railway track geometry. There are projects to simplify reference systems, which include only the cre-

ation of geodetic control network. In the presence of the second embodiment the elimination of long irregularities and statement of the track in the design position can be performed by two modern methods [3], requiring highly skilled performers:

- method of electronic tacheometry, providing accuracy in terms of up to 10 mm and height up to 20 mm. Performance teams of four people is 3–4 km;
- using a set of two dual-frequency geodetic receivers in the «stop – go» mode with the same accuracy and performance.

If there is a full-fledged reference network necessary for elimination of long irregularities and setting of a track in the design position accuracy is achieved in various ways, including not requiring high skills:

- By way of perpendiculars from chords tightening adjacent reference marks;
- By way of bend arrows from chords with a length of 20 m and in automated implementation of the method of arrows in track measuring cars and lining machines [5].

Method of arrows when binding survey points to reference in 50–75 m ensures maximum accuracy of relative position of neighboring points of the chord of about 3 mm. An indispensable condition for achieving high surveying accuracy by all means is transition to coordinate form of calculation of track reconstruction.

During construction and current maintenance of railway track may arise some problems associated with optimization of way location after geodetic surveys.

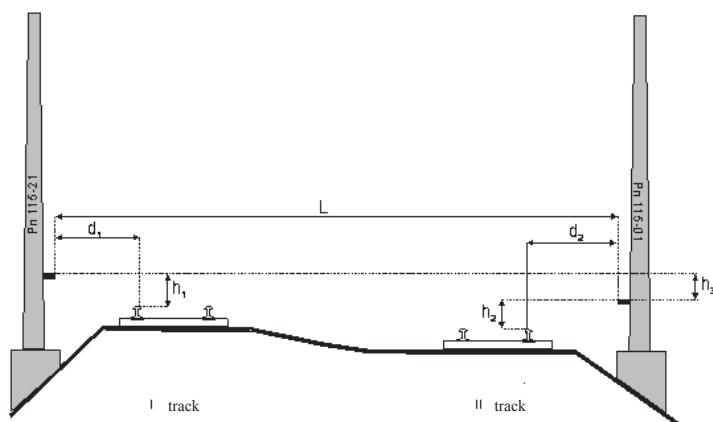
During execution of field surveying, as a rule, do not coordinate vertices of angles of track rotation, solving the optimization problem by minimizing the sum of squares of values of realigning (shifting) of track. Approximation of track location on the mentioned principle leads to the fact that the optimal curve is located arbitrarily in the bisector angle of rotation of the track, the center of the curve does not lie on it, all the geometric parameters of the curve are violated, position on it of its all major points and the distances between them becomes uncertain.

Expert opinion in this case is clear: during implementation of the above technologies in the terrain pairing of transition curves with circular becomes more difficult, and eventually the stability of the railway bed is disrupted.

To avoid this, it is necessary to introduce additional a reference system, the main points of which will be vertices of rotation angles of the track. Thus, it will be different from the one in which the railway was built.

The main points must be fixed on the ground with long-term centers and identification marks. The sur-





Pic. 2. Scheme of measured parameters of paired points of SRS working network:
 d_1 and d_2 – horizontal distance from working reference points to active face of the nearest rail; h_1 and h_2 – excess between working reference points and tread surface of heads of the nearest rails; h_3 – excess between paired working reference marks; L – horizontal distance between paired working reference marks.



Pic. 3. Fixing tangent lines with reference marks.

face should not be below the level of the roadbed. If the vertex of angle is not available for its fastening on the ground, then in place of it are put two centers on lines of tangents (Pic. 3) [6].

The main reference points are stored for the entire period of operation of the railway, and the lines connecting them permanently retain the design position of the axis of the railway track in the area.

When preparing to repair of the railway the geometric conditions of the project are met, the railway stops «wandering» on the subgrade from one repair to another. Conditions for minimizing the quantities of realigning when approximating, for example, circular curves without regard to their basic geometrical parameters (angles of track rotation, location of centers of circular curves on bisectors of angles of rotation et al.), may lead to an asymmetry of curve relative to the rotation angle, which complicates its pairing with transition curves. The angle of rotation of the track may change.

In addition to the main points of the reference system it is necessary to install on the ground additional reference marks on straight sections of the route, which can be mounted on a catenary support. Distance from them to the axis of the track without any problems is determined by lateral leveling method [6].

Frequency of installation of reference points on track curves depends on the radius of the circular curve (the smaller is the radius, the tighter is it), but not less than the detailed breakdown of curves. At this stage, occurs binding of the future curve to reference marks. The easiest way to solve this problem is coor-

dination of centers of reference marks and arrangement in front of points on the curve with subsequent calculation of the horizontal distance between them.

During the construction of the new railway reference network must be set up in the reconstruction of the road route, which during the pre-survey is fixed in nature.

It is more difficult to create a reference network on an existing railway, since during operation almost all vertices of angles of rotation of the track are lost and there are additional angles on long straight sections.

There can only be guided by the information obtained as a result of detailed surveys of the track and field tracing using design angles and distances.

The authors recommend to create a reference network on the basis of information obtained as a result of the detailed survey of the existing track and the subsequent tracing using the calculated design angles and distances.

It is necessary to start work with restoration of vertexes of track rotation angles. The individual vertexes where fastening signs are not preserved, can be probably found with hydraulic surveys from remaining local objects according to the outline of their binding or direct sighting on design angles from two adjacent track vertexes.

Solution of the problem is possible using survey materials (coordinates fixing curve of points), but with pre-fixed on the ground (during survey) straight segments (tangents lines) directed at adjacent vertexes. Distances between points of fastening lines should be maximally acceptable.

Then we find the best (minimum in shifts) parameters of the curve, as well as coordinates of the vertex of the angle and the angle of the track rotation. After removal of the vertex of the rotation angle in nature it remains to solve the question of whether it may be the main reference point (at the location on the ground), or it must be replaced by two reference marks on tangent lines [6].

The most important point at this stage of track recovery track becomes an informed choice of tangent lines, fixing direction of straight sections of track, especially if they are on the project have been very extended, as a result of numerous reconstructions and repairs received additional turns, even for a small angle. Therefore, before we fix straight lines it is necessary to analyze the survey materials before the latest renovations to straighten or reduce the number of turns, respecting the established dimensions.

Conclusion. Created reference system may allow to exclude in future surveying services for current maintenance of railway track, reducing control over its planned position to measurements of distances from reference marks. They (measurements) should be part of projects of reconstruction and repair of the track. If heights of reference points are determined, then it is possible to control the high-altitude position of rail heads, using a mechanical method of leveling.

REFERENCES

1. Volkov, A. N., Gelfgat, A. G., Voronov, A. A. At the peak of innovation [Na pike innovatsionnykh tekhnologiy]. *Evrasiya Vesti*, 2012. Iss. 10.
2. Matveev, S. I. Engineering geodesy and geoinformatics: Textbook for universities [Inzhenernaya geodeziya i geoinformatika: Uchebnik dlya vuzov]. Moscow, MIIT publ., 2012, 484 p.
3. Dukhin, S. V., Zheleznev, M. M., Matveev, S. I. Formation of uniform geo-information space of Russian railways [Formirovaniye edinogo geoinformatsionnogo prostranstva rossiyskikh zheleznikh dorog]. *Evrasiya Vesti*, 2008, Iss. 7.
4. Reznitsky, F. E., Saltynskaya, E. Yu. The use of satellite navigation systems in construction of special geodetic reference networks for railway transport: Toolkit for independent work of students [Ispol'zovaniye sputnikovyykh navigatsionnykh sistem pri postroenii spetsial'nykh geodezicheskikh opornykh setey dlya zheleznodorozhnogo transporta: Metodicheskoe posobie k samostoyatel'noy rabote studentov]. Yekaterinburg, USURT publ., 2008, 38 p.
5. Medvedev, R. S., Bakhracheva, Yu. S. Statement of railway track in the design position using coordinate method in the organization of high-speed traffic [Postanovka zheleznodorozhnogo puti v proektnoe polozenie s primeneniye koordinatnogo sposoba pri organizatsii vysokoskorostnogo dvizheniya]. *Vestnik Volgogradskogo gosudarstvennogo universiteta*, 2013, Iss. 1, pp. 91–93.
6. Dobrynin, N. F., Levitsky, A. A. New method of determining geometric characteristics of the railway track on geodetic data [Novyy metod opredeleniya geometricheskikh kharakteristik zheleznodorozhnogo puti po geodezicheskim dannym]. *Vestnik RGUPS*, 2011. Iss. 1 (41), pp. 146–152.
7. Reznitsky, F. E., Erokhina, E. Yu., Abrarov, R. G. On creating a reference system on railways [O sozdanii revernoy sistemy na zheleznikh dorogah]. *Transportnoye stroitel'stvo*, 2001, Iss. 12, pp. 22–24.
8. Special reference system of control over railway track state in the profile and plan: Technical requirements [Special'naya revernoyaya sistema kontrolya sostoyaniya zheleznodorozhnogo puti v profile i plane. *Tekhnicheskie trebovaniya*]. Moscow, VNIIZhT publ., 1998, 29 p.
9. Matveev, S. I., Kougia, V. A., Tsvetkov, V. Ya. Geoinformation systems and technologies on railway transport [Geoinformatsionnyye sistemy i tekhnologii na zheleznodorozhnom transporte]. Ed by S. I. Matveev. Moscow, UMK MPS Rossii publ., 2002, 225 p.
10. Korzhenevich, I. P. New ways of survey of railway curves [Novye sposoby s'emki zheleznodorozhnykh krivykh]. *Vestnik Dnepropetrovsk nacional'nogo universiteta zheleznodorozhnogo transporta*, 2006, pp. 53–56.
11. Korzhenevich, I. P. Special reference system for monitoring track position in the plan [Special'naya revernoyaya sistema dlya kontrolya polozeniya puti v plane]. *Vestnik Dnepropetrovsk nacional'nogo universiteta zheleznodorozhnogo transporta*, 2008, pp. 69–71.
12. Samratov, U. D., Sakovich, L. A., Krivdin, D. G. On accuracy of determining geometric parameters of railway track using AES [O tochnosti opredeleniya geometricheskikh parametrov zheleznodorozhnogo puti s pomosh'yu APKU]. *Geoprofi*, 2007. Iss. 6, pp. 28–32.
13. Strategy of development of railway transport in the Russian Federation till 2030: the decision of the Russian Government dated 17 June 2008 № 877-r [Strategiya razvitiya zheleznodorozhnogo transporta v RF do 2030 goda: postanovleniye Pravitel'stva RF ot 17 iyunya 2008 g. № 877-r].
14. Dobrynin, N. F., Levitsky, A. A. Role of reference system in construction and current maintenance of track [Rol' revernoy sistemy pri stroitel'stve i tekushchem soderzhanii puti]. *Inzhenernyy vestnik Dona*, 2012. Iss. 2, pp. 142–145.
15. Kougia, V. A. Geodetic network for high-speed rail main line [Geodezicheskaya set' dlya vysokoskorostnoy zheleznodorozhnoy magistrali]. *Geodeziya i kartografiya*, 1997, Iss. 1, pp. 12–16.
16. Shcherbakov, V. V. Track realigning in reconstruction and repair of railways, using GIS and GNSS technologies [Vypravka puti pri rekonstruktsii i remonte zheleznodorozhnykh putey s ispol'zovaniem GIS-tehnologii i GNSS]. Novosibirsk, SibGUPS publ., 2013, pp. 23–26.
17. Instructions for leveling of I, II, III and IV classes [Instruktsiya po nivelirovaniyu I, II, III i IV klassov]. Moscow, TsNIIGAiK publ., 2004, 252 p.
18. Kiselev, M. I., Mikhelev, D. Sh. Fundamentals of Geodesy [Osnovy geodezii]. Moscow, Vysshaya shkola publ., 2003, 368 p.
19. Tsvetkov, V. Ya., Kuzhelev, P. D. Geographic information systems and technologies as a new method for the study of transport networks [Geoinformatsionnyye sistemy i tekhnologii kak novyy metod izucheniya transportnykh setey]. *Geodeziya i ajerofotos'emka*, 2002, Iss. 5, pp. 155–161.
20. Bovshin, N. A., Zubinsky, V. I., Ostach, O. M. Joint equalization of national geodetic networks [Sovmestnoye uravnivaniye obshhegosudarstvennykh opornykh geodezicheskikh setey]. *Geodeziya i kartografiya*, 1995, Iss. 8, pp. 6–17.
21. Boikov, V. V., Galazin, V. F., Kaplan, B. L. et al. Experience of creation of geocentric coordinate system PZ-90 [Opyt sozdaniya geocentricheskoy sistemy koordinat PZ-90]. *Geodeziya i kartografiya*, 1993, Iss. 1, pp. 17–21. ●

Information about the authors:

Denisov, Alexander V. – Ph.D. student of the department of Design and construction of railways of Moscow State University of Railway Engineering (MIIT), Moscow, Russia, ADenisov.nv@gmail.com.

Ryzhik, Ekaterina A. – Ph.D.(Eng.), associate professor of Moscow State University of Railway Engineering (MIIT), Moscow, Russia, CatRyzhik@yandex.ru.

Article received 08.09.2015, revised 23.10.2015, accepted 28.11.2015.

