

И. П. КОРЖЕНЕВИЧ (ДИИТ), О. А. СУСЛОВ (ИрГУПС),  
Б. И. ТОРОПОВ (КИЕВГИПРОТРАНС)

## ПЛАН ЖЕЛЕЗНОДОРОЖНОГО ПУТИ, ПРОБЛЕМЫ ЕГО СЪЕМКИ, РАСЧЕТОВ И РЕАЛИЗАЦИИ

Розглянуто сучасні проблеми плану залізничної колії від зйомки до реалізації проекту і запропоновано напрями їх вирішення.

Рассмотрены современные проблемы плана железнодорожного пути от съемки до реализации проекта и предложены направления их решения.

The modern problems of plan of railway track from survey to realization of project are considered and the directions of their solution are offered.

В настоящее время ни у кого не возникает сомнений по поводу влияния состояния плана железнодорожного пути в кривых и прямых участках на комфортность езды, износ рельсов и подвижного состава [1]. Особенно актуальна эта проблема при повышении скоростей движения поездов и на грузонапряженных линиях.

Следует отметить, что сегодня в цепочке «изыскатель – проектировщик – инженер ПМС – инженер ПЧ» каждое звено работает практически само по себе без какой-либо реальной увязки с проектом. Часть вины в этом лежит и на проектировщиках, т.к. они не предлагают ПМС и ПЧ систем, позволяющих реализовать и контролировать проектные решения.

Для контроля состояния плана и оценки его параметров сегодня рекомендуют (зачастую совершенно необоснованно) использовать разнообразную «чудо-технику», оснащенную гироскопами, спутниковыми приемниками, бесконтактными системами измерений. При расчетах плана в ряде случаев применяют эвольвентные методы, которые не дают точного положения пути в плане. Многие программы, используемые для проектирования плана, не обеспечивают соблюдение габаритных ограничений до опор контактной сети и до соседних путей. Практически отсутствует авторский надзор за выполнением работ по приведению плана в соответствие с проектом.

Для приведения плана пути «в проектное положение» используют путерихтовочные машины с измерением асимметричных стрел и мерным колесом. Такие системы (даже при обещанной точности измерения стрелы 0,1 мм) не обеспечивают нахождения правильного пространственного положения пути из-за быстро накапливающейся ошибки (двойное интегриро-

вание стрел) и не позволяют выполнять проверку соблюдения габаритов, особенно между соседними путями. Имеющиеся на некоторых дорогах реперные системы не ориентированы на использование их в текущем состоянии и при выполнении рихтовочных работ.

Рассмотрим подробнее некоторые проблемы плана железнодорожного пути.

### Съемка плана и пути повышения её достоверности

При съемке плана сравнивают, как правило, две противоположные системы – координатную съемку и съемку стрел. В первом случае мы измеряем непосредственно пространственное положение пути, имеем относительно небольшую погрешность по длине пути, но в соседних точках точность определения координат часто оказывается на уровне тех рихтовок, которые получают в расчетах. При измерении стрел для перехода к пространственному положению пути необходимо выполнить двойное интегрирование кривизны (двойное суммирование стрел). В результате, при достаточно высокой точности измерения кривизны в соседних точках погрешность определения пространственного положения нарастает очень быстро.

Опыт показывает, что использование того или иного способа измерений определяется прежде всего тем, с какой целью они выполняются.

Если на основе измерений будет разрабатываться проект переустройства плана с заменой рельсошпальной решетки, то достаточно выполнить координатную съемку по оси пути или по одному из рельсов с точностью определения координат отдельных точек  $\pm 30$  мм. Такая точность может обеспечиваться полярной съемкой

с использованием электронных тахеометров и трехштативной системы или дифференциальной GPS съемкой со стоянками на точках измерений не меньше 15..30 с. При этом приемник устанавливается на головку одного из рельсов либо непосредственно, либо на штатной вешке с круглым уровнем.

Расстояние между точками принимается 5..20 м в зависимости от кривизны. Обязательно берутся точки в местах расположения объектов, в районе которых необходимо контролировать рихтовки (мосты, переезды, опоры контактной сети и т.п.). Следует избегать точек с маленьким (меньше 0,5 м) расстоянием между ними.

В точках съемки измеряются ширина колеи для переноса съемки на ось пути (при отсутствии существенных отклонений можно считать ширину постоянной) и возвышение наружного рельса (для контроля габаритов и скоростей). Непрерывная GPS съемка на движущихся тележках дает точность съемки не лучше  $\pm 300$  мм, поэтому категорически недопустима для проектных целей. Высокая штанга на таких тележках делает съемку кривых еще более грубой [2].

Если на основе измерений будет выполняться рихтовка пути в точках измерений, участок рихтовки небольшой по протяженности (300..500 м) и состоит из ярко выраженных прямых, между которыми находится кривая, а сами величины рихтовок не приводят к изменению габаритов отдельных точек пути, то в таких случаях могут применяться традиционные стреловые способы измерений. При этом рекомендуется выполнять двойной независимый промер или использовать модифицированный способ стрел [3].

Во всех остальных случаях следует применять комбинированную съемку с уравниванием результатов измерений [4]. При этом весь участок разбивается на отрезки и снимается каким-либо стреловым способом (лучше всего модифицированным) по одному из рельсов по всей длине. В отдельных точках пути на расстоянии 50..200 м (в зависимости от кривизны) измеряются координаты при помощи тахеометров или GPS. Точки, в которых необходимо контролировать рихтовки, либо снимаются тахеометром или GPS, либо (что проще и достаточно точно) «заплюсовываются». В этом случае измеряется расстояние от ближайшей разбивочной точки и определяются характерные размеры для контроля. При выполнении расчетов в РВПлан ко-

ординаты таких точек достаточно просто получают через сплайны.

При сильном износе рельсов в кривых и при постановке пути на ось без смены рельсов съемку следует осуществлять по наружным рельсам таких участков. В этом случае разбивка на отрезки выполняется для каждой кривой отдельно, а при расчете измеренные стрелы уравниваются на координаты отдельных точек и пересчитываются по нормальям на ось пути. Затем координаты отдельных кривых объединяются в одну общую модель для расчетов проектного положения плана.

Такие подходы к измерениям позволяют достичь требуемой точности в каждой из рассмотренных ситуаций.

### **Расчеты плана.**

#### **Учет ограничений, габаритов, объемов работ и стоимости. Определение возвышений и допускаемых скоростей**

Сегодняшний рынок программных продуктов предлагает достаточно широкий выбор программ для расчетов плана железнодорожного пути. Часть из них ориентирована или только на задачи текущего содержания, или только на проектные задачи.

Из программ, которые позволяют выполнять универсальные расчеты, можно отметить Aquila и РВПлан [5].

Aquila, входящая сегодня в состав КАПРЕМ, является на сегодня единственной программой, которая может в автоматическом режиме отыскивать проектное решение на участках, состоящих из нескольких кривых. В то же время, учет ограничений на рихтовки в отдельных точках, на пикетаж и параметры отдельных элементов плана, а также габаритных ограничений для объектов и соседних путей в автоматическом режиме практически невозможен. Поэтому после нахождения первоначального решения необходимо «вручную» обеспечивать такие требования. В реальных проектных случаях это связано с достаточно большими затратами времени, причем не всегда достигается результат.

РВПлан сегодня не дает автоматического решения сложных участков, но позволяет программно порезать такой участок на куски по съемке или проектному решению и выполнить расчет каждого куска с учетом самых разнообразных ограничений на проектные параметры, пикетаж, рихтовки и габариты (в каждой точке может одновременно задаваться до 25 видов ограничений). Все эти ограничения автомати-

чески учитываются в процессе оптимизации. После расчета каждого куска они программно склеиваются, и далее расчет доводится для всего участка в целом. При выборе в качестве критерия оптимизации суммы затрат на выполнение работ при расчете сразу получаем объемы работ и материалов, а также общую стоимость выполнения работ.

Также только в РВПлан возможно выполнение оптимизации решения с обеспечением заданного уровня скоростей движения и автоматизированного обеспечения междупутных габаритов при любом плане соседних путей.

При наличии у проектировщика обеих систем можно получить при помощи Aquila в автоматическом режиме первоначальное решение, затем в РВПлан порезать участок на куски по прямым этого решения. После этого каждый из кусков рассчитывается с обеспечением нужных скоростей движения и нормативных требований, ограничений на пикетаж, рихтовки и габариты. Затем полученные решения склеиваются в одно.

Решение, полученное в РВПлан, может впоследствии использоваться в различных САПР (Robur Rail, CREDO, GeoniCS), данные могут экспортироваться также в ACAD, Excel, текстовые документы. Все форматы РВПлан представляют собой открытые текстовые файлы.

Также РВПлан предоставляет проектировщику широчайший набор инструментов для расчетов и контроля возвышений наружного рельса в соответствии с различными нормативными документами. Уникальные инструменты РВПлан позволяют подобрать возвышения на участке из условий обеспечения заданных скоростей, минимальных непогашенных ускорений, уменьшения износа рельсов и подвижного состава. Расчеты показали, что изменение возвышения всего на 5 мм может существенно изменять боковое воздействие поездов на путь, поэтому к расчетам возвышений и их контролю следует относиться с особым вниманием.

### **Нормативные требования и их влияние на результат проектирования**

Хотя нормативная база постоянно совершенствуется, тем не менее, проектирование и отображение много радиусных кривых, проектирование изломов, расчеты возвышений и допускаемых скоростей (особенно в много радиусных кривых) на сегодня являются не до конца урегулированными.

Неэффективное использование геодезической техники при строительстве железных до-

рог и «зарихтовывание» пути при последующих ремонтах привели к тому, что на железных дорогах практически отсутствуют прямые участки. Для приведения таких участков к прямым требуются очень большие рихтовки, иногда достигающие десятков, а то и сотен сантиметров. Единственным выходом в таких ситуациях является применение изломов. В этом случае отрезки прямых соединяются короткими круговыми кривыми очень большого радиуса. Во многих странах сегодня в том или ином виде нормировано применение изломов, в то же время в России и Украине такое нормирование практически отсутствует.

До сих пор нет единства в понимании геометрии много радиусных кривых и отображении таких участков на продольном профиле. Порой сами проектировщики через некоторое время не могут сказать, что же означает величина «К» и какой геометрический смысл имеют значения углов отдельных кривых, показанные на профиле. Отсутствие единства в понимании геометрии приводит к тому, что даже в Руководствах ОАО «РЖД» даны примеры с довольно странными параметрами кривых.

В качестве положительного решения данной проблемы можно отметить технические указания Укрзалізниця по проверке плана и продольного профиля железнодорожных путей (2004 г.), в которых четко оговорено, что показывается на профилях. В частности, как «К» показываются «чистые» длины всех круговых кривых без добавления целых значений или половинок переходных кривых. Угол поворота показывается только для всей кривой без деления его по отдельным кривым.

Есть ряд вопросов и к нормативам относительно расчетов возвышений наружного рельса и допускаемых скоростей движения по кривым. В свое время в монографиях по этой теме [6] и в нормативных документах (Приказ № 41 от 12.11.2001 МПС России, ЦП 0056 1999 г., Укрзалізниця) особое внимание уделялось определению допускаемых скоростей на много радиусных кривых и на участках с короткими прямыми вставками. Как показывали расчеты, на таких участках далеко не всегда определяющим фактором являлся радиус. В то же время, в последних нормативных документах по расчету возвышений отсутствуют требования по проверке допускаемых скоростей в таких ситуациях. Неужели необходимость решения кубических уравнений для нахождения ограничивающих скоростей является сегодня непреодолимой преградой?

Следует отметить, что множество современных нормативных документов выглядят так, будто самый мощный вычислительный инструмент у инженера – арифмометр, а решение каких-то уравнений или даже простое умножение подменяется различными графиками и номограммами, как и 50 лет назад.

Необходимо, кроме научных работников, привлекать к созданию нормативных документов практикующих проектировщиков (как из желдорпроектов, так и гипротрансов), а также опытных работников передовых ПМС и ПЧ.

### **Реализация и контроль полученных решений. Реперные системы и их возможности**

В современных условиях проектировщики получают проектное решение в виде координатной модели в какой-либо системе координат. В то же время отсутствуют технологии и опыт укладки пути по проектным координатам, проблемным также является мониторинг плана на его соответствие проекту.

Необходимо прекращать практику, при которой ПМС использовал проект только для качественной оценки участка, а работа укладчиков и путерихтовочных машин никак не связывалась с проектными координатами пути.

При производстве ремонтных работ путь необходимо приводить в проектное координатное положение, как при укладке новой рельсошпальной решетки, так и при его выправке машинами тяжелого типа. В зависимости от конкретной задачи должна применяться соответствующая ей технология геодезических работ, обеспечивающих реализацию проектного решения «в натуре» и контроль получаемого результата.

Для выноса координат проектной оси можно использовать ее привязку к створам реперов специальной реперной системы. Кроме привязки к реперным створам, можно использовать вынос проектного положения по расстояниям от точек с известными координатами (например, точек на втором пути). Для реализации этого способа перед укладкой на втором пути координируются тахеометром или GPS отдельные точки, от которых с помощью простейших инструментов (рулетка, наугольник) при укладке откладываются рассчитанные проектные междупутья.

Конструктивно специальные реперные системы могут выполняться разного типа. На электрифицированных участках рабочие репера могут находиться на опорах контактной сети. За-

служивает внимания предложение ученых из Екатеринбурга [7] по нанесению реперных меток на опоры краской. На двухпутных участках следует также рассмотреть возможность установки рабочих реперов в виде труб диаметром 15...20 мм и длиной 1000...1200 мм в междупутье.

Частота установки определяется назначением реперов. Для целей мониторинга при уравнивании стреловых измерений достаточно определять координаты отдельных точек на расстоянии 50...200 м в зависимости от кривизны. На таком расстоянии устраиваются пары (лучше тройки) реперов.

Для мониторинга полученных после укладки координат пути и расчета окончательных сдвигов для постановки его в проектное положение следует применять стреловые измерения с уравниванием на координаты отдельных точек, которые могут определяться линейными засечками от специальной реперной системы.

Опасным является «слепое» доверие данным современных путеизмерителей КВЛ-П и ЦНИИ-4 по параметрам плана железнодорожного пути. Измерительные системы, заложенные в этих вагонах, не позволяют надежно и с достаточной точностью определять параметры плана. Но в то же время сегодня многие дистанции пути самоустранились от работы по контролю и паспортизации параметров плана.

Понятно, что создание специальной рабочей реперной сети потребует дополнительных затрат, но, как точно подметил Г. Форд, «точные измерения стоят дорого, но неточные обходятся гораздо дороже». Эпоха пренебрежения точностью плана привела к «зарихтовыванию», образованию много радиусных кривых, заводин. Все это дает чрезмерный износ рельсов и подвижного состава и некомфортную езду. Чем раньше мы начнем реализовывать действительно проектное положение плана, тем быстрее улучшится ситуация с износом и комфортностью. Следует отметить, что для таких технологий необходимы в основном организационные затраты и практически не требуются дополнительные средства, т.к. затраты на съемку и так предусмотрены сметами.

### **БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК**

1. Корженевич, И. П. План железнодорожного пути как один из основных факторов для снижения расходов и повышения скоростей [Текст] / И. П. Корженевич, Б. И. Торопов // Проблемы и перспективы изысканий, проектирования, строительства и эксплуатации железных дорог: Тр. Всерос. науч.-практ. конф. с международным

- участием (Иркутск, 20–24 апреля 2009 г.). – Иркутск: ИрГУПС, 2009. – Т. 2. – С. 105-110.
2. Корженевич, И. П. Точность съемки плана железнодорожного пути и пути ее повышения [Текст] / И. П. Корженевич, О. А. Суслов // Проблемы и перспективы изысканий, проектирования, строительства и эксплуатации железных дорог: Тр. Всерос. науч.-практ. конф. с международным участием (Иркутск, 20–24 апреля 2009 г.). – Иркутск: ИрГУПС, 2009. – Т. 2. – С. 110-116.
  3. Корженевич, И. П. Новые подходы к расчетам выправки (переустройства) плана железнодорожного пути [Текст] / И. П. Корженевич // Повышение эффективности работы путевого хозяйства и инженерных сооружений железных дорог: Сб. науч. тр. УрГУПС. – Екатеринбург, 2006. – Вып. 45 (128). – С. 16-26.
  4. Корженевич, И. П. Комбинированный способ съемки плана железнодорожной линии [Текст] / И. П. Корженевич // Вестник Днепропетр. нац. ун-та ж.-д. трансп. им. акад. В. Лазаряна. – 2007. – Вып. 14. – Д.: Изд-во ДНУЖТ, 2007. – С. 81-86.
  5. Интеллектуальные рельсовые системы. RWPlan – реконструкция и выправка кривых [Электрон. ресурс]. – Режим доступа: [http://brailsys.com/RWPlan\\_0.htm](http://brailsys.com/RWPlan_0.htm)
  6. Каменский, В. Б. Содержание железнодорожного пути в кривых [Текст] / В. Б. Каменский, Э. Я. Шац. – М.: Транспорт, 1987. – 189 с.
  7. Резницкий, Ф. Е. Геодезия и информационные технологии на железнодорожном транспорте [Текст] / Ф. Е. Резницкий, Е. Ю. Ерохина, Р. Г. Абраров // Геоинформационные технологии, путевое хозяйство и искусственные сооружения: Сб. науч. тр. УрГУПС. – Екатеринбург, 2002. – Вып. 22 (104). – С. 3-12.

Поступила в редколлегию 15.03.2010.

Принята к печати 18.03.2010.