



# Цифровые модели путевого развития



Дмитрий ЖЕЛЕЗНОВ

Dmitry V. ZHELEZNOV

**Применение спутниковых навигационных технологий. Создание концепции виртуальных железных дорог на основе цифровых моделей путевого развития и использования динамической информации. Автоматическая идентификация подвижного состава. Пространственная интерпретация поезда как динамического сплайна фиксированной длины. Проверка его габаритной проходимости для принятия решения о выборе маршрута приёма или отправления по станциям.**

*Ключевые слова:* спутниковые радионавигационные системы, аппаратура потребителя, алгоритм ведения поезда, геоинформационная база данных, цифровая модель путевого развития, пространственная интерпретация поезда, динамический сплайн, габаритная проходимость

*Железнов Дмитрий Валерианович – кандидат технических наук, доцент, старший научный сотрудник центра станционных технологий Забайкальского института железнодорожного транспорта – филиала Иркутского государственного университета путей сообщения (г. Чита).*

Одним из приоритетных направлений научной и технической политики в наземном транспорте закономерно стало внедрение высоких информационных технологий, которые принципиально меняют качество и сущность управления, реализуя объективные инструментальные методы контроля.

Такие технологии контроля и управления создаются на основе интеллектуальных информационно-телекоммуникационных средств, использующих высокоточные спутниковые радионавигационные системы (СРНС) ГЛОНАСС/GPS в сочетании с цифровой радиосвязью и комплексной компьютеризацией информационных процессов. В ряде стран ведутся работы по применению спутниковых навигационных технологий на железных дорогах [1]. Планы иметь национальную дифференциальную подсистему GPS (NDGPS) США провозгласили частью стратегического развития своего транспорта ещё в 1998 году [2].

Что касается нашего опыта, то эксперименты со спутниковой навигацией начали проводиться на Красноярской железной дороге в 1995–1997 годы. В течение 1997-го на опытном полигоне прошло проверку комплексирование аппаратуры потребителя

(АП) СРНС с другими устройствами [3].

АП СРНС, устанавливаемая на транспортных средствах, длительное время не отвечала всем требованиям безопасности и надежности. Вследствие этого мало изучена область построения систем управления процессами перевозок на базе её возможностей. А отсюда и ключевой момент – создание концепции виртуальных железных дорог с использованием цифровых моделей путевого развития.

Огромное значение приобрела на сети работа по формированию базы данных техническо-распорядительных актов станций (ТРА). Внедрение ДЦ «Тракт», систем автоматического ведения графика исполненного движения позволяют заметно упростить алгоритм ведения поезда. Если на первых этапах существования СРНС задача заключалась в распознавании изображения, полученного со спутника, идентификации поездов, их привязки к географическим координатам, выдаче информации о поездной ситуации диспетчеру то теперь достаточно простой схемы с цифровой моделью.

Метки транспортных средств идентифицируются спутником, и с заданным интервалом информация об их перемещениях передается в принимающее устройство автоматизированной системы управления движением поездов. В свою очередь, эта система накладывает динамическую информацию на цифровую модель путевого развития. Метка транспортного средства помогает однозначно установить номер локомотива, а тот выводит на номер поезда, открывая доступ к информации о его составе. Не имеет смысла описывать детали, касающиеся информационных массивов автоматизированной системы оперативного управления перевозками (АСОУП). Подробности процесса известны [4,5].

Внедрение систем автоматической идентификации подвижного состава (САИПС), построенной на базе ГЛОНАСС/GPS, позволяет рассматривать проблему организации перевозочного процесса на основе твердого графика движения поездов [6].

Для оперативного ведения единой базы данных ТРА разработан и введен на всех дорогах программно-технологический комплекс (ПТК АС ТРА), в котором содержится описание всех станций сети. При исполнении требования по поводу своевременно-

го внесения сведений о работах по реконструкции любых станционных подсистем (пути, СЦБ, опор контактной сети) на выходе системы формируется цифровая модель путевого развития станции.

С помощью АС ТРА создана и успешно функционирует геоинформационная база данных (ГБД), представляющая организованную совокупность пространственных и табличных данных, которые описывают некоторую территорию и расположенные на ней объекты.

Проектирование переустройства железнодорожных станций должно осуществляться при выгрузке цифровой модели из ГБД. Своевременное выявление несоответствий между фактическими и проектными параметрами объекта после реконструкции еще до внесения информации в ГБД равносильно определению места ошибки. Если она допущена при производстве строительных работ, а уровень точности при этом с очевидностью ниже проектных, то очень важно установить, оказывает ли ошибка влияние на эксплуатационные характеристики. Например, длина пути после завершения работ оказалась менее технологически необходимой – тем самым не решена главная задача реконструкции горловины при удлинении станционных веток. В таком случае должен следовать мотивированный отказ в приёмке объекта в постоянную эксплуатацию до устранения несоответствия за счёт подрядной организации.

В случае выявления ошибок по итогам топографо-геодезической съёмки необходима проверка правильности привязки к реперной сети. Как правило, точность современной аппаратуры (электронных тахеометров) очень высока. Поэтому появление ошибок – следствие человеческого фактора (недостаточная плотность съёмки, излишне дальние промеры), ибо зачастую измерения выполняются в тяжёлых полевых условиях. Иначе говоря, до ввода данных в цифровую модель надо принять все меры, чтобы обеспечить достоверность данных исполнительной съёмки. Полное совпадение проектных и фактических параметров невозможно, более того – их «идеальность» тоже вызывает подозрения.

К перспективам развития цифровой модели путевого развития правомерно от-





нести создание базы данных электронных паспортов подъездных путей необщего пользования. Такая работа разворачивается в настоящее время под эгидой Федерального агентства железнодорожного транспорта. К сожалению, пока метки динамических объектов нередко теряют привязку к ЦМПР. Например, при подаче на подъездной путь это произойдёт как с меткой маневрового локомотива, так и всех следующих с ним вагонов.

Цифровая модель поезда должна описывать его не как материальную точку, к которой прилагаются силы, а как тело, обладающее фиксированной массой. Пространственная интерпретация поезда: динамический сплайн фиксированной длины. Под сплайном (от англ. *spline* — планка, рейка) обычно понимают кусочно-заданную функцию, совпадающую с функциями более простой природы на каждом элементе разбиения своей области определения. Динамичность сплайна означает, что в любой момент для него существует система уравнений, описывающая размещение поезда в пространстве. *Графически* сплайн — кривая фиксированной длины. *Динамический* сплайн — «извивающийся червяк».

Принцип бионического (биомиметического) подхода довольно широко используется в современной науке, в том числе и при отыскании аналогов в природе. Достаточно привести в качестве примеров летательные аппараты и принципы их конструкций. Сходство поезда с кольцевым червем условно велико: допустим, он меняет свою длину в процессе движения. Конструктивный ход пружинно-фрикционного поглощающего аппарата автосцепного устройства СА-3, нужный для смягчения ударов и рывков, предохранения подвижного состава от опасных динамических воздействий — 90 мм. Разница же в длине поезда между предельными случаями — при нахождении на затяжном подъёме (автосцепки максимально растянуты) и при спуске в режиме торможения (максимальное сжатие) с составом поезда в 71 вагон и одиночным локомотивом — составит  $71 \times 0,09 = 6,39$  (м).

Движение кольцевого червя в толще почвы иной природы, значительно более сложной. Каждое из его колец постоянно меняет свою геометрию, в то время как изменение длины вагона по осям автосцепок

обеспечивается наличием полостей в конструкции поглощающих аппаратов. Более того, при прохождении червем плотных участков он регулирует плотность своих колец посредством перемещения физиологической жидкости между ними. Очевидно, что в чистом виде нет необходимости использовать модели движения кольцевого червя для описания движения поезда. Можно ограничиться существенно упрощённым аналогом.

В качестве другого аналога можно использовать движение цепи по направляющей. Отличие от таких моделей в том, что направляющая (железнодорожный путь) постоянно меняет свою конфигурацию. То есть модели, описывающие цепную передачу, не пригодны. Более того, наличие собственной системы управления у поезда ставит его значительно ближе к «живым» объектам. В виде ещё одного из ограничений выступает путь. Если червь в любой момент может двигаться в произвольном направлении, при этом лишь незначительная часть пространства, занятая его телом, исключает некий сегмент движения (нельзя двигаться внутрь себя), то поезд всегда идет по направляющей, размещение которой жёстко регламентировано.

Предлагается при описании поезда представлять его как цепь переменной длины, обладающую системой управления режимами движения, следующую по направляющей, на которую наложены внешние ограничения переменного характера. Под последними понимаются воздействия систем тягового электроснабжения и диспетчерского управления, погодные условия, перемещения динамических объектов в пространстве габарита подвижного состава на пути следования и др. Звенья цепи — вагоны. Состав поезда помогает определить информация из АСОУП. По номеру вагона устанавливается главный параметр для модели — его фактическая длина по осям автосцепок. Этот параметр описывает максимальную длину, поскольку при измерениях вагон расцеплен, а значит, и поглощающие аппараты автосцепок предельно разжаты.

Подбор сплайна не зависит от поведения поезда. Положения головной и хвостовых меток транспортера дают привязку поезда к цифровой модели пути. С неё снимается, на каких элементах в плане и профиле на-

ходится состав. Например, одна часть поезда проходит круговую кривую известного радиуса на спуске, другая находится на переходной кривой, расположенной на площадке, а третья — на прямой и подъёме. В таком случае сплайн будет содержать три функции: по одной для каждого из участков. Число сплайнов определяется точностью цифровой модели пути.

В модели путь описывается как линия, что соответствует пространственному размещению его оси на уровне головок рельсов. Если следовать логике движения цепи по направляющей, то перемещение поезда должно описываться не одним сплайном, а целым семейством. В пространственной интерпретации это напоминает пучок нитей. Если же построить сплайны для всех точек габарита погрузки, то получится достаточно точная копия. Причём при наличии вагонов с негабаритностью контур габарита подвижного состава должен быть скорректирован в соответствии с индексом негабаритности поезда.

Для работы с пучком сплайнов цифровая модель пути представляется как последовательность сечений, построенных с заданным шагом. Величина последнего определяется сложностью задачи, которую требуется решить. Например, фактическое размещение опоры контактной сети в стрелочной горловине нарушает габарит приближения строений. Учитывая диаметр опоры в нижнем сечении (для современных железобетонных опор — 540 мм), очевидно, что при возведении виртуального туннеля шаг построения поперечных сечений должен быть менее этой величины.

Для большинства эксплуатационных задач модель «извивающегося червяка» или пучка динамических сплайнов избыточна. Её проекция на продольную ось пути (получение динамического сплайна) вполне хватит.

Взаимосвязь между полной и сокращённой версией моделей осуществляется посредством поперечного сечения (габарита очертаний), построенного в соответствии с индексом негабаритности поезда. При её отсутствии используется очертание габарита погрузки (рис. 1). Числами 1–10 отмечены точки, для которых строятся сплайны, 11 — соответствует сплайну сокращённой версии.

Сплайны задаются характерными точками, которые имитируют очертания габарита поезда. Их количество может меняться в зависимости от сложности контура. Минимальное число сплайнов отвечает случаю, когда все вагоны в составе вписываются в габарит погрузки. При наличии негабаритных вагонов толщина пучка сплайнов колеблется от 10 до 24 (предельный случай) линий. Для порожнего поезда описание принимается по габариту подвижного состава.

Полная модель пучка динамических сплайнов должна применяться при проверке габаритной проходимости поезда до момента принятия решения о подготовке маршрутов приёма и отправления по станциям. Особенно это актуально при ограничениях пропускной способности.

Для решения задач оперативного управления движением поездов наличие СРНС ГЛОНАСС/GPS позволяет при необходимости уплотнять поездопоток за счёт сокращения межпоездного интервала. Причём регулирование интервала меняет свою природу. Если при езде по сигналам автоблокировки или автоматической локомотивной сигнализации, используемой как самостоятельное средство связи, управление было дискретным, то при переходе на СРНС каждому машинисту можно выдавать оперативную индивидуальную режимную карту. Это очень важно в периоды сгущения поездопотока, которые неизбежно возникают из-за внутрисуточной неравномерности или после «окон».

\*\*\*

Проект технического регламента «О безопасности технических средств, взаимодействующих с глобальными навигационными спутниковыми системами ГЛОНАСС/GPS/GALILEO, устанавливаемых на подвижном составе и объектах инфраструктуры железнодорожного транспорта РФ» наряду с другими аналогичными документами в рамках ФЦП «ГЛОНАСС» находится в стадии утверждения [7].

Объектами регулирования в проекте регламента являются технические средства, которые разрабатываются и модернизируются, изготавливаются и устанавливаются,



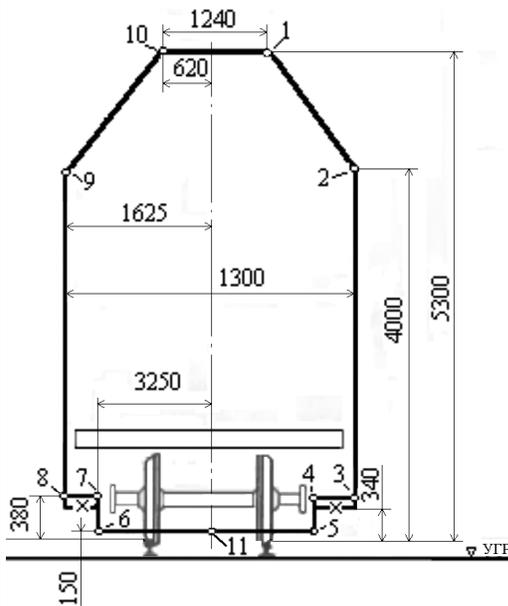


Рис. 1. Характерные точки габарита погрузки.

ливаются на подвижной состав и сетевые элементы железнодорожного транспорта. Технические средства с помощью данных о местоположении пути (в какой-либо системе координат) и принятых радионавигационных сигналов передают в систему информации:

- номер пути следования железнодорожного подвижного состава согласно схеме путевого развития, отображенной в паспорте пути или технико-распорядительном акте;
- местоположение данного состава на пути следования;
- скорость и направление его движения;
- привязка событий на подвижном составе и объектах инфраструктуры к московскому времени;
- время и координаты (в какой-либо общеземной системе) местоположения вагонов с грузами.

В целом технические средства, устанавливаемые на подвижной состав и объекты инфраструктуры, делятся на две группы. К первой относятся обеспечивающие выполнение технических и технологических процессов. Ко второй – обеспечивающие получение информации о местоположении и состоянии перевозимых грузов.

Разработанная на основе регламента система внедряется на полигоне Красноярского транспортного узла, на участке промышленного железнодорожного транспорта ОАО «ВостСибПромТранс» [13]. Предварительные испытания подтвердили достаточную точность математического описания путевого развития станций и путей перегонов опытного полигона по результатам инженерно-геодезических работ – построение цифровых моделей путевого развития (ЦМПР) обеспечено со средней квадратической ошибкой (СКО) 30 см. При этом точность определения местоположения локомотива ТЭМ2 на ЦМПР оказалась с предельной ошибкой 1 м, а скорости движения локомотива с СКО – 0,05 м/с, частота передачи данных в смежные системы управления – не ниже 1 Гц.

Информация о перемещениях локомотивов (выезд из депо, заезды/выезды на пути станций, отправление на другую станцию или подъездной путь, прибытие со станции или подъездного пути, начало простоя локомотива с указанием причины, окончание простоя) необходима для ведения динамической модели полигона управления, включая дислокацию вагонов на путях. В перспективе объем вводимой вручную информации сократится до 60%, повысится оперативность (до режима реального времени) передачи данных о перемещениях локомотивов, а вместе с ними и вагонов. За счет автоматического получения информации появляется возможность улучшить качество оперативного планирования подачи вагонов на фронты погрузки/выгрузки и уборки вагонов после выполнения грузовых операций, оптимизировать работу локомотивов, а также снизить эксплуатационные расходы. При наличии достоверной оперативной вагонной модели перевозочного процесса создаются условия для отмены физического списывания парка местных вагонов, ручного заполнения настольных журналов дежурного, книги движения поездов, балансового журнала, графика исполненной работы станции.

С учетом полученных результатов можно утверждать, что ГЛОНАСС в со-

стоянии стать базовым элементом в оперативных информационно-управляющих системах дорожного уровня, а также предприятий промышленного железнодорожного транспорта.

Кроме решения задач управления перевозочным процессом подобной системе легко найти и дополнительное применение:

– контроль местоположения самостоятельных подвижных единиц и работающих на путях бригад на станциях и перегонах, свободности станционных путей и перегонов на основе определения длины состава на пунктах контроля полносоставности;

– построение систем оповещения о приближении поездов к переездам и единого времени для устройств железнодорожной автоматики и связи;

– определение взаимных расстояний между поездами (система интервального регулирования);

– геодезическое обеспечение решения задач службы пути и искусственных сооружений;

– использование в системах автоматического определения местоположения и идентификации подвижного состава для целей сопровождения грузов;

– автоматизация заполнения маршрутов машинистов и передача этих данных в систему интегрированной обработки;

– построение систем автоматического ведения поездов, контроля дислокации локомотивов и оперативного персо-

нала, работающего на пути, а также обработки данных для повышения надежности технических средств;

– создание обучающих ситуационных тренажеров.

Современная инструментальная база в области космической навигации, уровень развития информационных технологий на транспорте, опыт экспериментальной эксплуатации дают право приступить к созданию принципиально новых систем управления эксплуатационной работой. В конечном итоге это позволит повысить качество услуг железнодорожного транспорта, добиться реальной конкуренции грузоперевозчиков.

## ЛИТЕРАТУРА

1. Сетевые спутниковые радионавигационные системы/В. С. Шебшаевич и др. – М.: Радио и связь, 1993.

2. Железнов М. М. Спутниковая навигация транспортных средств с использованием цифровых моделей железной дороги/Дис... канд. техн. наук. – М., 2002.

3. Васекин А. И. Техничко-экономическое обоснование создания системы управления перевозками с применением спутниковых технологий (на примере Красноярской железной дороги)/Автореф. дис... канд. техн. наук. – Новосибирск, 2000.

4. Левин Д. Ю. Диспетчерские центры и технология управления перевозочным процессом: Учеб. пособие. – М.: Маршрут, 2005.

5. Левин Д. Ю. Теория оперативного управления перевозочным процессом: Монография. – М.: 2008.

6. Шапкин И. Н. Организация железнодорожных перевозок на основе информационных технологий/Дис... док. техн. наук. – М., 2009.

7. Гурин С. Е. Навигация на службе управления перевозочным процессом//РЖД-партнер. – 2010. – № 21. ●

## DIGITAL MODELS OF TRACK DEVELOPMENT

**Zheleznov, Dmitry V.** – Ph.D. (Tech), associate professor, senior researcher of the center of station technology of Zabaikalsky institute of railways – a subsidiary to Irkutsk State University of Railway Engineering.

*The author studies some aspects of application of information technology at railways. He considers satellite navigation technology, concept of virtual railways on the basis of digital models of track engineering and dynamic data, automatic identification of rolling stock, spatial interpretation of a train as a dynamic spline of fixed length, control of its trafficability see its overall dimensions and the choice of the route, arrival and departure tracks at each station e t.c.*

**Key words:** satellite radio navigation systems, client devices, train traffic control algorithm, interval between trains, automatic identification of the rolling stock, geoinformatics data base, digital simulation of track development, spatial interpretation of a train, dynamic spline, chain of changeable length, trafficability by overall dimensions.

Координаты автора (contact information): Железнов Д. В. – e-mail: zheleznov\_dim@mail.ru.

