



Цифровые модели путевого развития станции



Владимир УМАНСКИЙ
Vladimir I. UMANSKY

Сергей ДОЛГАНЮК
Sergey I. DOLGANUK



Уманский Владимир Ильич — доктор технических наук генеральный директор ЗАО «ИнтехГеоТранс», Москва, Россия.

Долганюк Сергей Иванович — кандидат технических наук, заместитель начальника отдела автоматизации управления локомотивами на станции ОАО «НИИАС», Москва, Россия.

Чтобы пользоваться автоматизированным управлением поездными и маневровыми маршрутами, требуется позиционирование подвижных объектов — локомотивов, маневровых составов, вагонов на станционных путях в реальном масштабе времени. Для этого нужны средства спутниковой навигации, интеллектуальные системы с наличием цифровых модулей путевого развития станции. Статья демонстрирует подходы к решению этой задачи, методы создания базы данных для моделирования системных элементов в виде выбора различных типов, а также решения уравнений, описывающих траектории осей железнодорожных путей.

Ключевые слова: железная дорога, станция, путевое развитие, цифровая модель, интеллектуальная система, управление маршрутами.

Интелектуальные станционные системы управления (ИСС) призваны обеспечить существенное расширение комплекса задач, связанных с технологическими процессами и решаемых обычно в «ручном» режиме оперативным персоналом — станционными и маневровыми диспетчерами, дежурными по станции и паркам, составителями поездов.

Действующие сейчас системы МАЛС и ГАЛСР в значительной степени обеспечивают автоматизированное управление надвигом и роспуском составов, а также безопасное выполнение различных маневровых операций. Однако решения по очередности и времени выполнения поездных и маневровых маршрутов на станциях по-прежнему принимаются только оперативными работниками. Станционные АСУ лишь расширяют информационное поле для таких решений, количество которых на крупных станциях в сутки составляет тысячу и более.

Одним из условий автоматизированного управления поездными и маневровыми маршрутами является позиционирование подвижных объектов — *ПО* (поездных и ма-

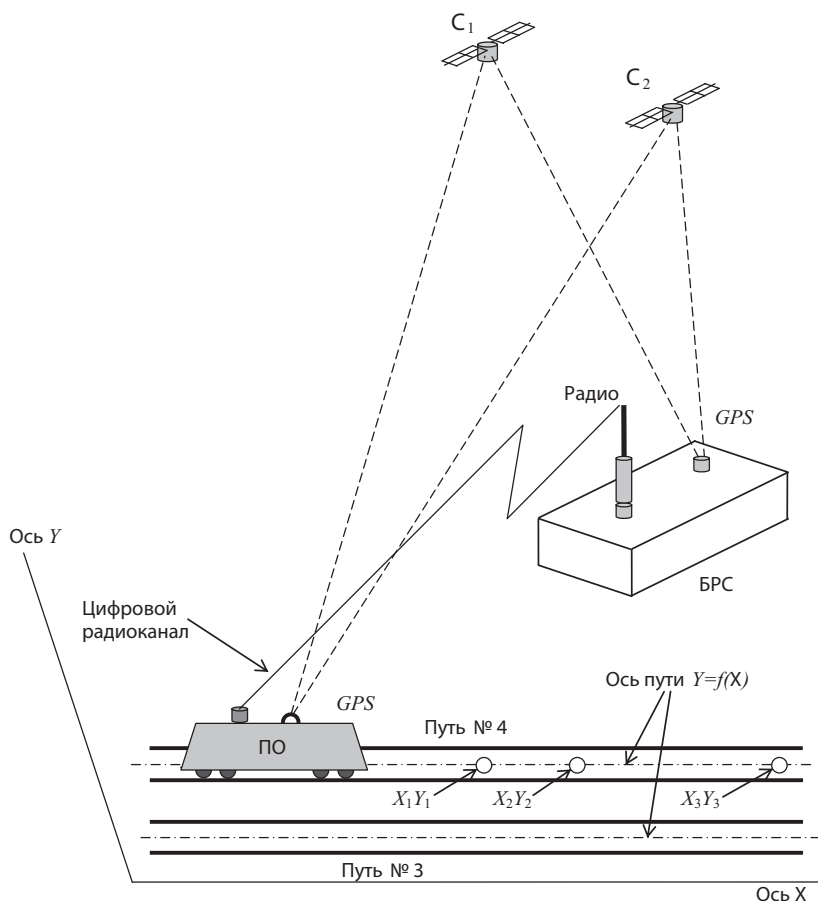


Рис. 1. Типовая схема позиционирования подвижного объекта на станционных путях в дифференциальном режиме:
 GPS – приемники спутниковой навигации на БРС и ПО;
 C_1, C_2 – группировка спутников;
 БРС – базовая референцная станция;
 ПО – подвижной объект.

Fig. 1. Typical chart of positioning of moving object at the station tracks under differential mode:
 GPS receivers of satellite navigation mounted on moving object and at base reference station;
 C_1, C_2 satellite group;
 БРС base reference station;
 ПО – moving object.

невровых локомотивов, маневровых составов, вагонов) на станционных путях в реальном масштабе времени. Для этого в ИСС необходимо использовать техническую базу МАЛС, в которую входит подсистема спутникового позиционирования ПО. Среди самостоятельных элементов этой подсистемы – цифровая модель путевого развития станции (ЦМППР).

Как показали исследования и практический опыт, при наличии для определения координат ПО только связи между спутниками и подвижными объектами достигаемая точность составляет несколько метров. Такой точности вполне достаточно, например, для известных автомобильных нави-

гаторов. На железнодорожных станциях расстояние между путями 4–5 метров, а в местах соединения путей и менее. Поэтому при подобной системе позиционирования возникает риск фиксации ПО на соседнем пути, что недопустимо, в том числе, по условиям безопасности.

Для повышения точности используют метод определения координат ПО в так называемом дифференциальном режиме, предусматривающем получение спутникового сигнала не только на подвижном объекте, но и на базовой референцной станции (БРС) с известными фиксированными геодезическими координатами. В этом случае с учетом специального мате-



математического обеспечения точность определения координат *ПО* повышается в 8–10 раз и оказывается приемлемой для целей управления станционными технологическими процессами, в том числе автоматизации принятия решений по очередности и времени выполнения поездных и маневровых маршрутов.

Необходимыми компонентами реализации навигационной подсистемы позиционирования на железнодорожных станциях являются (рис. 1):

- приемники спутниковой навигации на каждом *ПО* и базовой референчной станции (*БРС*);
- цифровой радиоканал между *БРС* и *ПО*;
- цифровая модель путевого развития станции для обеспечения привязки *ПО* к географическим координатам осей станционных путей.

Любой подвижной объект (маневровый локомотив на пути № 4, рис. 1) при реализации данной схемы позиционирования может быть с достаточной точностью зафиксирован в различные моменты движения по станционным путям. Такие моменты обозначают, например, точка 1 с геодезическими координатами X_1 и Y_1 , точка 2 – X_2 Y_2 , точка 3 – X_3 Y_3 . Эти координаты маневрового локомотива (*ПО*) следует привязать к координатам станционной инфраструктуры.

Координаты станционных путей и их соединений с указанием места расположения стрелочных переводов, изолированных стыков, предельных столбиков, светофоров и других технологических объектов, необходимых для управления идущими процессами, должны отражаться в цифровой модели путевого развития станции. По существу, *ЦМПР* – это база увязанных между собой геодезических (координаты) и технологических (объекты) данных, представленных в виде таблиц и математических зависимостей, обеспечивающих решение задач управления.

Путевое развитие станции и все составные части инфраструктуры представляются в *ЦМПР* как база данных в виде набора точек различных типов, а также уравнений, описывающих траектории осей железнодорожных путей.

Используются три типа точек.

1. Граничные точки. Это точки, служащие ограничением при размещении *ПО* на станционных путях или их отрезках. Такими ограничениями являются изолирующие стыки изолированных секций путей, границы станции с прилегающими перегонами, призмы тупиков, сбрасывающие стрелки. К этому типу точек относятся и координаты остряков стрелочных переводов, поскольку при выполнении маневровых полурейсов *ПО* должен проследовать за стык рамного рельса для обеспечения перевода остряков в другое положение. Временной граничной может стать точка на пути, до которой способно осуществляться движение *ПО* при ремонте пути. Она означает конец путевого развития. Таким образом, в *ЦМПР* отражаются координаты следующих граничных точек:

- изолирующие стыки;
- границы станции;
- призмы тупиков;
- сбрасывающие стрелки;
- остряки стрелочных переводов;
- конец путевого развития (временная граничная точка).

2. Путевые точки представлены двумя видами. Первый – проекции предельных столбиков на ось прямого пути. Эти точки могут использоваться при решении некоторых задач управления поездной и маневровой работой. Второй вид – точки для описания координат путей и возможных маршрутов движения *ПО* по изолированным стрелочным участкам. Например, соединительные пути парков станций могут иметь значительную длину между граничными точками с наличием обратных кривых. Для повышения точности отражения в *ЦМПР* траектории оси такого пути его описание с использованием более простых математических зависимостей может быть представлено в виде нескольких отрезков. Это же относится и к траекториям движения *ПО* по любым кривым участкам пути в границах изолированных участков в стрелочных горловинах и в других случаях. Иначе говоря, путевые точки второго вида предназначены для повышения уровня соответствия теоретических и фактических траекторий осей путей по возможным маршрутам движения *ПО*.

3. Специальные точки описывают координаты различных устройств станционной

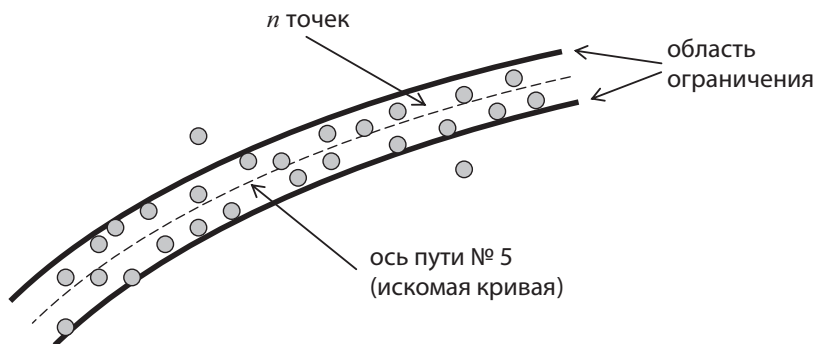


Рис. 2. Накопленные данные координат n точек для пути № 5.

Fig.2. Stored data on coordinates of n points for the track # 5.

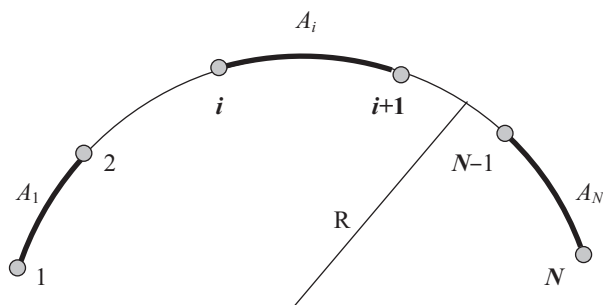


Рис. 3. Представление в ЦМПП стационарного пути набором отрезков путей $A_1, \dots, A_i, \dots, A_{i+1}, \dots, A_N$, определяемых граничными (1, N) и путевыми (2, ..., i, (i + 1), ..., (N - 1)) точками.

Fig. 3. Presentation in digital model of track development of a station track via a set of track segments $A_1, \dots, A_i, \dots, A_{i+1}, \dots, A_N$ defined by border (1, N) and track (2, ..., i, (i + 1), ..., (N - 1)) points

инфраструктуры: светофоров, центров вагонных замедлителей, горбов горок, переездов, датчиков счетчиков осей, путевых упоров для закрепления составов и др.

Траектории стационарных путей в пределах граничных точек отвечают уравнению вида $Y = f(X)$.

Для создания цифровой пространственной модели станции можно использовать традиционную геодезическую съемку. Однако это требует выполнения большого объема геодезических работ и значительных затрат. Снижение стоимости разработки ЦМПП обеспечивается данными о местоположении подвижных объектов при схеме их позиционирования, представленной на рис. 1.

Идея метода автоматизированной съемки данных для построения ЦМПП заключается в использовании локомотивов как передвижных средств с повторяющимися траекториями при прохождении по разным стационарным путям. Навигационная антенна крепится на середине крыши локомотива по ширине. Высокочастотный кабель (ВЧ 1.6 ГГц) соединяет антенну с навигационным приемником, размещаемым в кабине машиниста, который с заданной дискретностью времени производит изме-

рения и передает навигационные данные в блок их обработки. Полученные координаты накапливаются в специальном хранилище для каждого учитываемого в ЦМПП отрезка пути.

Например, на рис. 2 представлены накопленные данные по n точкам для некоторого отрезка пути № 5. При этом объем необходимой выборки из n точек, лежащих в области ограничения (рис. 2), определяется методами математической статистики с учетом допустимой вероятности предельной ошибки и степени разброса (среднеквадратического отклонения) координат различных точек от генеральной средней.

С использованием данных по n точкам и исходя из реальной кривизны стационарных путей геометрия их осевых линий может быть с достаточной для практики точностью определена полиномом не выше третьего порядка:

$$Y = f(X) = a_0 + a_1 X + a_2 X^2 + a_3 X^3. \quad (1)$$

Коэффициенты a_0, a_1, a_2 и a_3 могут быть определены при помощи метода наименьших квадратов при выполнении условия минимизации суммы квадратов среднеквадратических отклонений (дисперсий) для n точек:



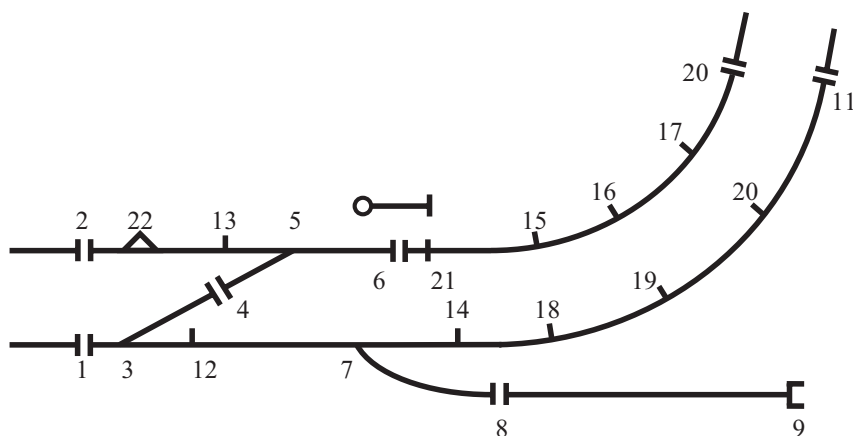


Рис. 4. Пример представления станционных путей в ЦМПР.

Граничные точки: 1, 2, 4, 6, 8, 10, 11 – изолированные стыки; 3, 5, 7 – острия стрелочных переводов; 9 – призма тупика. Путевые точки: 12–14 – предельные столбики; 15–20 – точки описания координат путей. Специальные точки: 21 – светофор; 22 – датчик счетчика осей. Линки: 1–3, 3–7, 7–8, 7–18, 18–19, 19–20, 20–11 и т. д.

Fig. 4. Example of presentation of station tracks in digital model (border points: 1, 2, 4, 6, 8, 10, 11 – isolated joints; 3, 5, 7, – blades; 9 – v-block. Track points: 12–14 border columns; 15–20 points of track description. Special points: 21 – signal lights, 22 – sensor of axle counter. Links: 1–3, 3–7, 7–8, 7–18, 18–19, 19–20, 20–11 etc.).

$$S = \sum_{i=1}^n (Y_i - a_0 + a_1 X_i + a_2 X_i^2 + a_3 X_i^3)^2 = \min, \quad (2)$$

где Y_i , X_i – текущие координаты n точек, полученные в результате натурных наблюдений.

Использование стандартного инструментария, имеющегося в программном обеспечении для экономико-статистических расчетов Excel, позволяет быстро определять значения данных коэффициентов.

Для практических целей в ЦМПР удобно представлять станционные пути между граничными точками при наличии кривых набором их отрезков. При этом каждый отрезок определяется граничными и путевыми точками. Количество путевых точек на единицу расстояния зависит от геометрии пути – чем больше его кривизна, тем больше путевых точек требуется использовать. Для определения дискретизации (мест размещения) точек вводится математический критерий, однозначно определяющий максимальное расстояние L между точками на участке пути в зависимости от радиуса кривизны R этого участка:

$$L \approx 2 \sqrt{R^2 - (R - \Delta)^2}, \quad (3)$$

где Δ – максимально допустимое удаление расчетных точек от фактической геометрии участка пути с известной кривизной.

Для ЦМПР, применяемых в системах МАЛС и ГАЛСР, критерий $\Delta = 0,3$ м. В соответствии с (3), например, при $R = 2000$ м $L \approx 70$ м, при $R = 1000$ м – $L \approx 50$ м.

Тогда отрезок пути между граничными или граничными и путевыми, или между путевыми точками, в том числе и с разной кривизной (что особенно имеет место в стрелочных горловинах и у различных соединительных путей), может быть представлен отрезками путей $A_1 \dots A_i \dots A_N$, определяемых набором граничных и путевых точек – 1, 2 ... i , $(i+1)$, ... $(N-1)$, N (рис. 3).

Такие отрезки станционных путей называются линками.

В целом пример представления станционных путей и объектов инфраструктуры (для ограниченного участка станции) точками различных типов и линками дается на рис. 4. Для точек в ЦМПР указываются координаты, а для линков – значения коэффициентов a_0, a_1, a_2, a_3 в уравнениях вида (1). На основании этих коэффициентов определяется длина каждого линка.

Как видно из рис. 4, количество точек и линков на крупных станциях может быть весьма значительным. Поэтому при разработке ЦМПР особое внимание уделяется организации хранения данных, для чего установлены определенные и строгие пра-

вила (технические требования) формирования каталога всех объектов модели, координат точек и параметров линков.

Например, для каждой станции разработки ЦМПР организуются отдельные хранилища типа: «станционные парки», «изолированные секции», «стрелочные переводы», «светофоры», «граничные точки», «линки», «вагонные замедлители» и др. Вводится признак направления (лево, право) при перечислении точек, определении направления показаний светофоров и в других необходимых случаях. Атрибуты объектов хранилищ позволяют четко идентифицировать каждый объект и получать данные, используемые при решении задач автоматизированного управления подвижными объектами.

Навигационные подсистемы спутникового позиционирования, включающие в свой состав ЦМПР, уже разработаны в комплексе МАЛС для нескольких сортировочных станций.

Это создает хорошую основу для реализации интеллектуальных станционных систем с автоматизированным управлением поездными и маневровыми маршрутами. При этом используется техническая база МАЛС, которая дополняется программным обеспечением интеллектуальной системы.

Главной составляющей частью такого программного обеспечения является имитационная модель оперативной работы станции, позволяющая осуществлять прогноз поездных и маневровых передвижений на заданный плановый период, оценивать результаты работы при различной очеред-

ности выполнения операций и принимать оптимальные решения. При этом ЦМПР дает возможность определять все расстояния намечаемых передвижений по любым маршрутам, а значит, и время их выполнения, что, собственно говоря, и становится основой оптимизации выполнения станционных технологических операций.

Таким образом, разработка в составе МАЛС спутниковой системы позиционирования, включающей в себя ЦМПР, обеспечивает решение не только задач по безопасности движения, но и автоматизации оперативного управления работой станций.

ЛИТЕРАТУРА

1. Ковалев С. М., Шабельников А. Н. Теоретические проблемы интеллектуализации транспортных процессов // Сб. трудов международной научно-практич. конференции «Автоматизация и механизация технологических процессов на сортировочных станциях» — М.: 2010. — С. 16—19.

2. Ковалев С. М., Тарасов В. Б. Проблемы развития интеллектуальных технологий на транспорте и в производстве // Сб. трудов международной научно-практич. конференции «Автоматизация и механизация технологических процессов на сортировочных станциях» — М.: 2010. — С. 68—72.

3. Уманский В. И., Долганюк С. И., Калинин С. В. Имитационное моделирование поездных и маневровых передвижений в интеллектуальных станционных системах оперативного управления // Вестник ВНИИЖТ — 2013. — № 2. — С. 25—32

4. Дулин С. К., Калинин С. В., Уманский В. И. Интеллектуальная поддержка принятия решений в управлении движением поездов // Сб. научных трудов «Научная сессия МИФИ—2008», том 10. — М.: 2008. — С. 55—56

5. Уманский В. И. Технология построения трехмерных моделей железно-дорожного полотна в высокоточном координатном пространстве // Сб. докладов 6-й Международной научно-практич. конференции «Геопространственные технологии и сферы их применения». — М.: 2010. — С. 66—67. ●

DIGITAL MODELS OF STATION TRACK DEVELOPMENT

Umansky, Vladimir I. — D. Sc. (Tech), director general of IntechGeoTrans, closed corp., Moscow, Russia.

Dolganuk, Sergey I. — Ph.D. (Tech), deputy head of the department of automation of station locomotive control of JSC NIIS (Research institute of automation and signaling), Moscow, Russia.

ABSTRACT

In order to use automatic control of train and maneuvering routes it is necessary to position moving objects (locomotives, maneuvered trains, rail cars) at station tracks in real time mode. So there is a need for tools of satellite navigation, intelligent systems based on digital models of station tracks. The article describes approaches of that problem, methods of database development, needed for simulation of system elements as a selection of different types, as well as methods of solution of equations describing trajectories of the axis of rail tracks.

ENGLISH SUMMARY

Background.

Intelligent station control systems (ISS) are intended to considerably enlarge the range of tasks solved automatically from within the set of tasks which refer to technological process and are usually solved in «manual» mode by operational personnel — station and maneuver dispatchers, assistant station-masters, duty yardmasters, tower men, shunting masters. The existing MALS and GALS systems provide possibility of automated control of arriving and of breaking down of the trains, as well as of safe

