

- f_p varies in time from the maximum positive value to the maximum negative value when the train moves through a cell;
- there is a Doppler offset while the train is moving;
- f_p although very little when the train moves through the BS, it will encounter a fast Doppler junction;
- f_p will move from the maximum negative value to the maximum positive value when the train moves to the area of overlap between adjacent cells, as shown in Figure 8.

For wireless trunking, serious problems with Doppler shift and fast Doppler transition must be solved before practical application. Serious Doppler shift can lead to difficulties in synchronization and bit error rate. It should be noted that although the Doppler shift is large, its change is so small that it can be accurately estimated and easily compensated for with accurate information about the speed and location of the train. Also, a fast Doppler shift in the center of the cell makes it much more difficult to estimate the channel and the Doppler shift.

Conclusion. For wireless trunking communications, serious problems with Doppler shift and fast Doppler transition must be solved before practical application. Serious Doppler shift can lead to timing difficulties and bit error rates. It should be noted that although the Doppler shift is large, its variation is so small and the Doppler shift can be accurately estimated and easily compensated for with accurate train speed and location information. Also, the fast Doppler transition in the center of the honeycomb makes estimating the channel and Doppler shift much more difficult.

REFERENCES

- [1] Концепции модернизации и производства систем железнодорожной автоматики и телемеханики. – Астана, 2018. – С. 88-90.
- [2] Технический анализ нагрузочных испытаний системы радиосвязи стандарта TETRA. – Алматы, 2016. – С. 15-16.
- [3] Sansyzbay K.M., Kuandykov A.A., Bakhtiyarova Ye.A., Vlasenko S.V., Mamyrbaev O.Zh. Radio communication channel interaction method, maintaining train performance information security // Journal of Theoretical and Applied Information Technology. – Islamabad, 2020. – Vol.98. № 06. – P. 957-969.
- [4] Бахтиярова Е.А., Дуйсебекова К.С., Чигамбаев Т.О., Сансызбай К.М. Практическое применение системы радиоблокировки для обеспечения информационной безопасности на магистральной сети // Промышленный транспорт Казахстана. – Алматы, 2020. – №1. – С. 111-117.

УДК 656.256.3

М.Б. Орунбеков

Академии логистики и транспорта, Алматы, Казахстан
m.orunbekov@alt.edu.kz

МАТЕМАТИЧЕСКОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ ОСНОВНЫХ ПАРАМЕТРОВ КООРДИНАТНОЙ СИСТЕМЫ ИНТЕРВАЛЬНОГО РЕГУЛИРОВАНИЯ ДВИЖЕНИЯ ПОЕЗДОВ

Аннотация. В статье рассмотрены принцип работы системы радио блокировки, построены функциональная схема управления движением поездов при координатном

способе регулирования, разработаны математическая модель координатной системы в условиях передачи четырех основных параметров между поездом и центром управления.

Ключевые слова: радио блокировка, ERTMS/ETCS, функциональная схема, математическая модель.

Андатпа. Мақалада радио блоктау жүйесінің жұмыс принципі қарастырылған, координаталық реттеу әдісімен пойыздардың қозғалысын басқарудың функционалды сұлбасы жасалынған, пойыз бен басқару орталығы арасында төрт негізгі параметрді беру жағдайындағы координаталық жүйенің математикалық моделі өңделген.

Түйін сөздер: радио блоктау, ERTMS/ETCS, функционалдык сұлба, математикалык модель.

Abstract. The article discusses the principle of operation of the radio block system, a functional scheme of train traffic control with a coordinate control method is constructed, a mathematical model of the coordinate system is developed in the conditions of transmission of four parameters between the train and the control center.

Keywords: radio block, ERTMS/ETCS, functional diagram, mathematical model

Обеспечения безопасности движения поездов на железнодорожном транспорте осуществляет системы автоматики и телемеханики. По функциональному назначению эти системы классифицируются на станционные и перегонные.

Станционные системы обеспечивает безопасность передвижения поездов в пределах станции, а перегонные системы осуществляет интервальное регулирование движением поездов на перегоне и к перегонным системам предъявляется более жесткие требования, так как в основном аппаратуры перегонных систем расположены на определенных расстояниях от поста ЭЦ и обслуживающих персоналов, тем самым затрудняя за короткое время устранить отказы при сбоях.

В системах полуавтоматической блокировке (ПАБ) и автоблокировке (АБ) применяются фиксированные блок-участки, отличающиеся лишь их длинами. А в системах радио блокировке (РБ) для интервального регулирования движением поездов применяется технология «подвижных блок-участков», где на перегоне во многих случаях отсутствует сигнальные точки в отличие от ПАБ и АБ [1].

В системах, фиксированных блок-участков, служба позиционирования и навигации движения поездов обеспечиваются с рельсовыми цепями, системами счета осей и проходных светофоров. Однако в системе подвижных блок-участков это заменена технологией точного позиционирования и навигации [2].

Технология подвижных блок-участков активно применяется в системах РБ, и позволяет максимально сократить межпоездные интервалы.

В настоящее время в разных странах мира эксплуатируются координатные системы интервального регулирования, так, например в США – ITCS (Incremental Train Control System), в Китае – CTCS (Chinese Train Control System), в ЕС – ETCS (European Train Control System), в Японии – ATACS (Advanced Train Administration and Communication System) и в Казахстане – СИРДП-Е.

Производством аппаратуры и компонентов для систем радио блокировки занимаются мировые компании как Siemens, Alstom, Thales, Invensys Rail Group, Bombardier Transportation и Ansaldo STS.

Системы ETCS и построенная на ее базе СИРДП-Е основана на непрерывной и точечной передаче данных между наземными устройствами и поездом, модульной архитектуре бортового компьютера и интеллектуальных датчиках EuroBalise, которые позволяют поезду определять свое местоположение на линии с высокой точностью [3].

Обобщенная схема функционирования системы ETCS/СИРДП-Е в соответствии с Subset 36 представлена на рисунке 1.

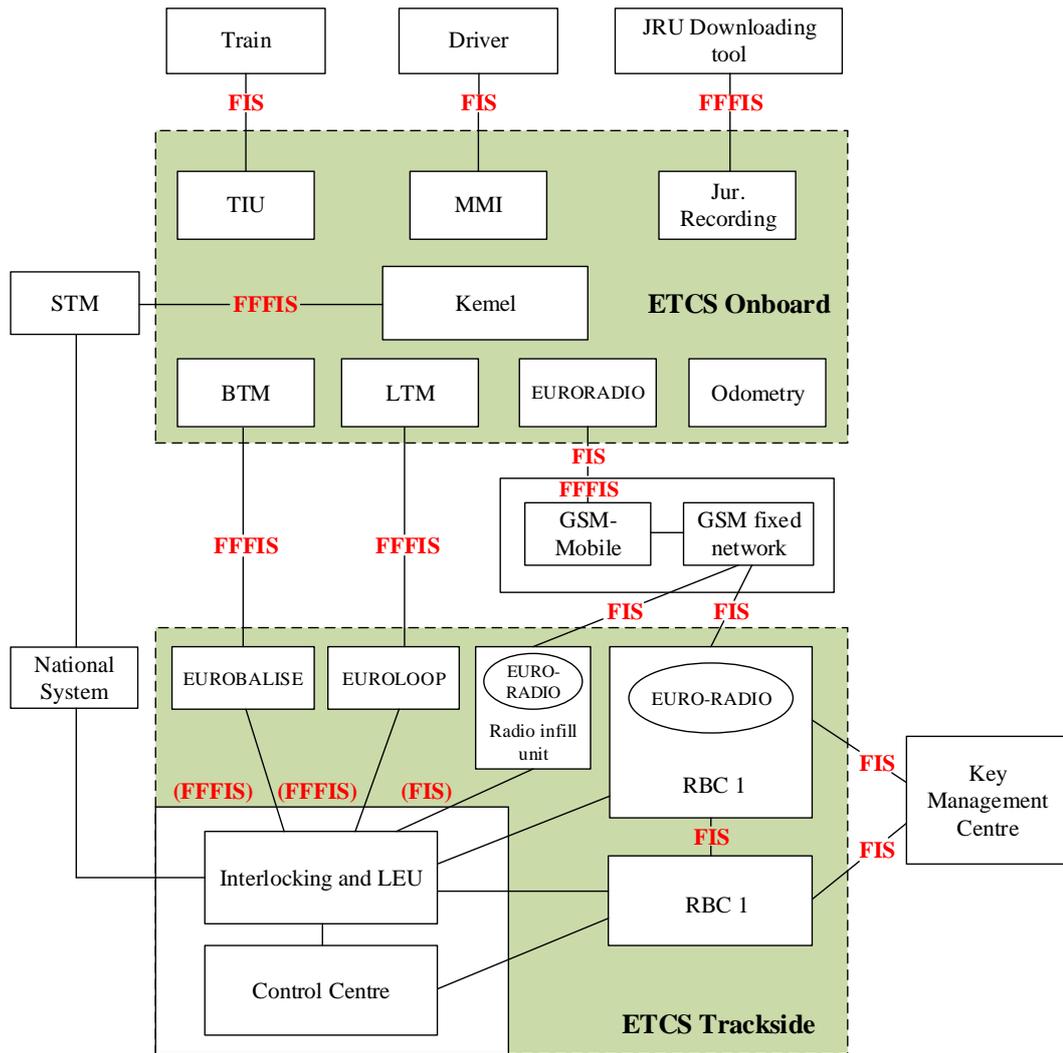


Рисунок 1 – Обобщенная схема функционирования системы ETCS/СИРДП-Е

Из рисунка видно, что система состоит из двух частей: стационарной аппаратуры и аппаратуры, размещенной на борту локомотива. В системе параметры по управлению движением поездов между стационарной аппаратуры и аппаратуры, размещенной на борту локомотива, передается посредством цифрового радиоканала стандартов GSM-R, TETRA и т.д.

Структурная схема движения поездов при координатной системе интервального регулирования (КСИР) представлена на рисунке 2.

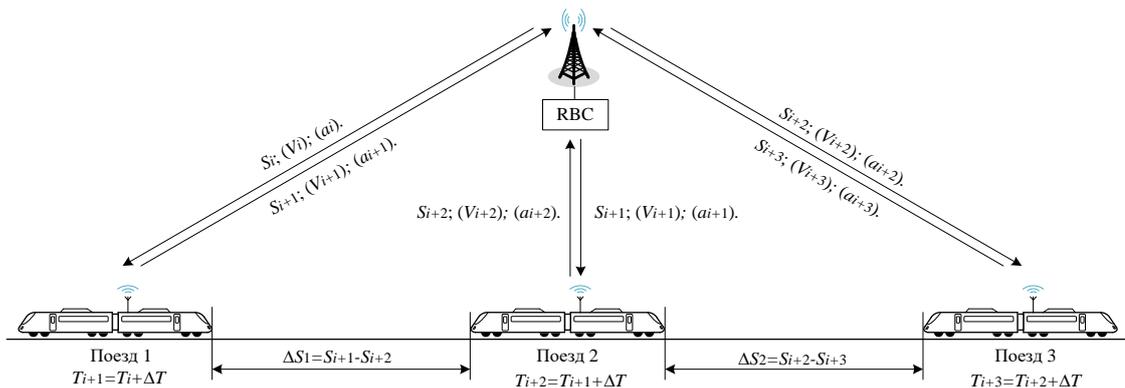


Рисунок 2 – Структурная схема движения поездов при КСИР

Для реализации КСИР необходимо передавать определенный объем информации с одного поезда на другой. Параметры движения каждого поезда измеряются техническими средствами, находящимися на локомотиве [4].

Учитывая вышеизложенного в статье рассмотрены вопросы математического моделирования основных параметров координатной системы интервального регулирования движения поездов на базе системы дифференциальных уравнений, который имеет общий вид [5]:

$$u = \sum_{t=0}^m C_t t^i \quad (1)$$

Число конечных условий может быть меньше, больше или равно порядку системы дифференциальных уравнений, описывающих движение поезда. Для получения единственного решения принимается количество неизвестных параметров управляющей функции (1) равным числу заданных конечных условий.

Так, например, на систему второго порядка (1) можно наложить одно условие – на конечное значение координаты, два условия – на конечную скорость и координату, три условия – на конечные ускорение, скорость и координату, четыре условия – на конечные ускорение, скорость, координату и рывок.

Рассмотрены синтез терминальных законов управления в соответствии, с которыми поезд проходит заданный участок и рассматривался закон управления, в котором на сзади идущий поезд по радиоканалу передается все вышеуказанные четыре параметра впереди идущего поезда.

Функциональная схема управления движением поезда при координатном регулировании движения поездов представлена на рисунке 3.

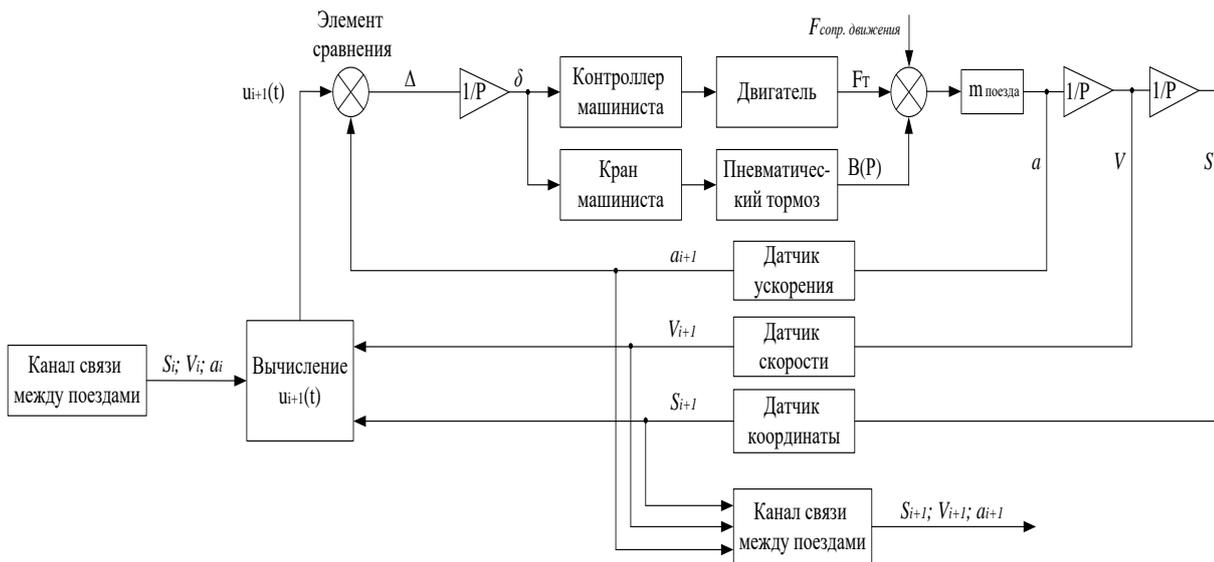


Рисунок 3 – Функциональная схема управления движением поезда при координатном регулировании движения поездов [4]

При передаче информации посредством радиосвязи на сзади идущий поезд о координате, скорости и ускорении впереди идущего, управление поездом осуществляется для закона управления (2).

Рассмотрим случай передачи на сзади идущий поезд информации о координате, скорости, ускорений и конечным изменений ускорения впереди идущего поезда. Заметим, что конечная скорость учитывается при построениях инерциальных систем

позиционирования, например, по которым определяют свое положение подводные лодки, стратегические ракеты, поезда со сравнительно быстро меняющимися большими скоростями. Физический смысл третьей производной пути по времени показывают «рывок».

В этом случае на управляющую функцию накладываются не три, а уже четыре конечных условия. Тогда управляющая (1) берется с четырьмя неизвестными параметрами:

$$U = C_0 + C_1 t + C_2 t^2 + C_3 t^3 \quad (2)$$

Дважды интегрируя значения ускорения в пределах от 0 до T , находим значения скорости, координаты и ускорения в конечной точке, а для получения четвертого условия продифференцируем по t первое уравнение системы (1), в полученном выражении заменим t на T и обозначим полученное новое выражение через B_k , где $-\infty < B_k < +\infty$. Таким образом, B_k – конечное изменение ускорения впереди идущего поезда – его «рывок». Теперь полученной неоднородной системы четырех линейных алгебраических уравнений с четырьмя неизвестными находим C_0, C_1, C_2, C_3 :

$$\left. \begin{aligned} C_1 + 2TC_2 + 3T^2C_3 &= B_k, \\ C_0 + TC_1 + T^2C_2 + T^3C_3 &= U_k, \\ TC_0 + \frac{1}{3}T^3C_2 + \frac{1}{4}T^4C_3 &= V_k - V_0, \\ \frac{1}{2}T^2C_0 + \frac{1}{6}T^3C_1 + \frac{1}{12}T^4C_2 + \frac{1}{20}T^5C_3 &= S_k - S_0, \end{aligned} \right\} \quad (3)$$

откуда

$$C_0 = -\frac{4 \cdot S_k''}{T^2} + \frac{314 \cdot S_0'}{T^2} + \frac{255 \cdot V_k}{T} - \frac{255 \cdot V_0}{T} + 86 \cdot U_k + \frac{29}{2} B_k T, \quad (4)$$

$$C_1 = -\frac{68 \cdot S_k}{T^3} + \frac{68 \cdot S_0}{T^3} - \frac{450 \cdot V_k}{T^2} + \frac{450 \cdot V_0}{T^2} + \frac{154 \cdot V_k}{T} + \frac{26}{3} B_k, \quad (5)$$

$$C_2 = \frac{154 \cdot S_k}{T^4} + \frac{154 \cdot S_0}{T^4} + \frac{135 \cdot V_k}{T^3} - \frac{135 \cdot V_0}{T^3} - \frac{47 \cdot U_k}{T^2} + \frac{53 \cdot B_k}{6 \cdot T}, \quad (6)$$

$$C_3 = -\frac{80 \cdot S_k}{T^5} + \frac{80 \cdot S_0}{T^5} + \frac{60 \cdot V_k}{T^4} - \frac{60 \cdot V_0}{T^4} - \frac{20 \cdot U_k}{T^3} + \frac{10 \cdot B_k}{3 \cdot T^2}, \quad (7)$$

Перейдем теперь к закону с обратной связью, считая текущее положение поезда начальным. При этом в выражениях (3-7) начальные фазовые координаты заменяются текущими, вместо T подставляется оставшееся время движения $T-t$. Тогда получим закон управления в виде:

$$U = -\frac{4 \cdot S_k}{(T-t)^2} + \frac{314 \cdot S_0}{(T-t)^2} + 255 \frac{V_k - V_0}{T-t} + 86 \cdot U_k + \frac{29}{2} B_k T, \quad (8)$$

где B_k – рывок впереди идущего поезда.

Приведем закон управления к форме, лишенной особенности в конечной точке. Поезда, как и прежде, будут двигаться с постоянными интервалом времени ΔT . Закон управления примет вид:

$$u_{i+1}^4(t) = -4 \frac{S_i}{\Delta T^2} + 314 \frac{S_{i+1}}{\Delta T^2} + 255 \frac{V_i - V_{i+1}}{\Delta T} + 86 \cdot U_i + \frac{29}{2} B_k(t + \Delta T), \quad (9)$$

где B_k – рывок впереди идущего поезда.

ЛИТЕРАТУРА

- [1] Орунбеков М.Б. Анализ эксплуатируемых систем интервального регулирования движения поездов на сети железной дороги Казахстана// Modern Scientific Researches. – 2018. – Issue №4. -Vol.1. С. 72-75.
- [2] D. Pan, Q. Luo, L. Zhao, C. Zhang, Z. Chen. A New Calibration Method for the Real-Time Calculation of Dynamic Safety Following Distance under Railway Moving Block System// Mathematical Problems in Engineering. – 2018.
- [3] Stanley P., Hagelin G., Heijnen F., Löfstedt K., Pore J., Suwe K.-H. and Zoetard P. ETCS for Engineers. 1. ed. Eurail press, 2011. – 302 p.
- [4] Романчиков А.М. Алгоритмические и информационные методы обеспечения безопасности координатной системы интервального регулирования движения поездов: Диссертация на соискания ученой степени кандидата технических наук по специальности 05.22.08 – Управление процессами перевозок. Московский государственный университет путей сообщения. – Москва. – 2011.
- [5] Бусленко Н.П.: Моделирование сложных систем. - М: Наука, 1978. – 362 с.

УДК 332.14

Т.С. Картбаев^а, К.О. Тогжанова^б, Г.Б. Кашаганова^с, М.А. Сыдыбаева

Логистика және көлік академиясы

Алматы энергетика және байланыс университеті

t.kartbaev@alt.edu.kz^а, k.togzhanova@alt.edu.kz^б, g.kashaganova@alt.edu.kz^с

SMART CITY ДАМЫТУДА ДИНАМИКАЛЫҚ ЖОСПАРЛАУ БАРЫСЫНДАҒЫ ТӘУЕКЕЛДЕРДІ ТАЛДАУ

Андатпа. Бұл мақала динамикалық жоспарлаудағы тәуекелдерді басқару мәселесіне арналған. Әр түрлі қосымшалардың тәуекелдік талдауы өте кең және тез дамып келе жатқан зерттеу аймағы болып табылады. Кез-келген мәселені шешудің тиімділігі негізінен шешілетін міндеттердің күрделілігіне қарамастан мәселелерді шешудің барлық кезеңдерінде шешім қабылдаудың дұрыстығы мен негізділігіне байланысты, бұл өз кезегінде тәуекелдерді ескермеу мүмкін емес.

Кілттік сөздер: ақылды қала, динамикалық жоспарлау, сынып, тәуекел, тәуекелді бағалау, қолданбалы тапсырмалар, градусық ойын.

Аннотация. Данная статья посвящена проблеме управления рисками в динамическом планировании. Анализ рисков различных приложений является очень обширной и быстро развивающейся областью исследований. Эффективность решения любой проблемы во многом зависит от правильности и обоснованности принятия решений на всех этапах решения задач, независимо от сложности решаемых задач, что, в свою очередь, невозможно без учета рисков.

Ключевые слова: умный город, динамическое планирование, класс, риск, оценка риска, прикладные задачи, градусная игра.