

УДК 004.9

Д.Б. Аркатов

Национальный технический университет «Харьковский политехнический институт»

## ЗАДАЧА КООРДИНАЦИИ ДВИЖЕНИЯ ПОДВИЖНЫХ СРЕДСТВ

*В данной статье рассматривается задача координации движения подвижных средств, обоснована ее актуальность для железнодорожного транспорта Украины. Проведен анализ подходов к решению данной задачи в развитых странах. Предложено рассматривать систему управления на железнодорожном транспорте как иерархическую. Формализованы типы конфликтов на железнодорожных перегонах и предложена математическая модель бесконфликтности движения.*

**Ключевые слова:** железнодорожный транспорт, координация движения, диспетчерская зона, математическая модель, информационная технология.

### Введение

Основными направлениями развития железнодорожного транспорта Украины являются увеличение пропускной способности и повышение безопасности железнодорожного транспорта. Эти задачи невозможно решить, используя существующие принципы управления и технологии технического обслуживания объектов железнодорожной автоматики.

Высокий уровень требований к эффективности управления перевозками на железнодорожном транспорте определяет потребность в высоком уровне его информатизации. Информационные технологии сегодня становятся не просто средствами поддержки управления, а одним из важнейших элементов инфраструктуры железных дорог. Из разряда вспомогательных средств они перемещаются в класс основных технологий и являются определяющим условием совершенствования управления перевозками.

Использование возможностей информационных систем на железных дорогах в интересах всего транспортного комплекса страны позволяет существенно снизить затраты на управление при организации и осуществлении внутренних и международных перевозок, обеспечивает существенное повышение качества транспортных и логистических услуг.

На железнодорожном транспорте нередки ситуации, когда отказ напольных устройств, неисправность в одном из проходящих поездов при высокой интенсивности движения либо «человеческий фактор» приводит к сбоям в исполнении графиков и массовым задержкам на всем участке железной дороги. В этом случае актуальной является задача автоматизации координации движения подвижных средств, поскольку поправки, вносимые диспетчером, имеют достаточно большой лаг принятия управленческих решений и, как правило, не оптимальны с точки зрения минимизации последствий сбоев в железнодорожном движении.

**Целью данной статьи** является формализация

задачи координации движения подвижных средств в рамках системы диспетчерского управления железнодорожного транспорта Украины. Это позволит синтезировать математическую модель координации движения поездов для реализации информационных технологий диспетчеризации на железнодорожном транспорте.

### Существующие системы диспетчеризации железных дорог

Во многих развитых странах созданы автоматизированные диспетчерские центры управления (АДЦУ) с общими залами для дежурного персонала, общим информационным табло и индивидуальными автоматизированными рабочими местами (АРМ) для диспетчеров [1]. С помощью АДЦУ обеспечивается руководство эксплуатационной работой на крупных железнодорожных перегонах, а в Италии и Дании – на территории всей страны. Основная цель корректировки расписания в ходе диспетчерского управления – сокращение опозданий поездов в связи с эксплуатационными ограничениями.

Например, японская система COSMOS [1] дает возможность увидеть график-прогноз движения поездов, который предсказывает время прибытия и отправления поездов, базируясь на данных исполненного графика. Такие предсказания позволяют диспетчерам проверять последствия результатов их действий при восстановлении нормального движения.

Компания Siemens [2] предложила собственный подход к автоматизации диспетчерского управления движением поездов, разработав программный комплекс, который в реальном времени непрерывно сравнивает фактические данные о движении поездов с плановым графиком и при отклонениях от него вносит поправки в онлайн-расписание.

В Европе эксплуатируется большое число систем обеспечения безопасности движения поездов, предназначенных для линий наиболее загруженной части железнодорожной сети. Например, унифици-

рованная европейская система управления движением поездов ETCS [2], внедрение которой уже началось в большинстве стран Европы. В основе данной системы лежит концепция диспетчерского управления, которая изображена на рис. 1. Центральным звеном является использование дифференциальной спутниковой системы EGNOS, которая позволяет в реальном времени получать данные о местоположении подвижных составов, а за счет использования GSM-технологий связи и передачи данных (GSM-R) осуществляется обмен информацией между АРМом диспетчера и бортовыми компьютерами подвижных средств.

В результате проведенного анализа было установлено, что внедрение зарубежных решений задачи автоматизации координации движения поездов (например, компании Siemens), невыгодно с экономической точки зрения, поскольку материальные затраты, связанные с их разработкой и сопровождением, превышают затраты на аналогичные системы собственной разработки приблизительно на 50% [3].

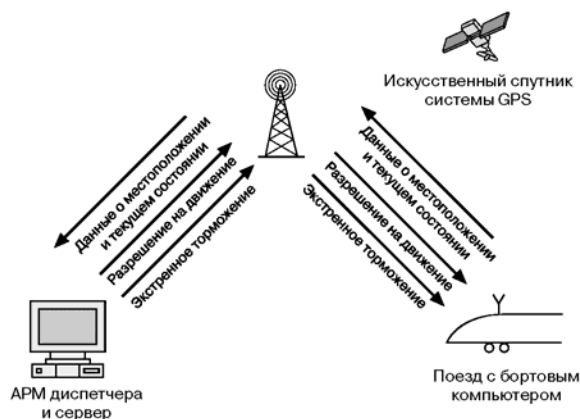


Рис. 1. Концепция системы диспетчерского управления европейских стран (адаптировано с [2])

Таким образом, проведение данного исследования обусловлено необходимостью разработки собственной системы координации движения подвижных средств, которая должна соответствовать зарубежным стандартам и обеспечивать необходимый уровень экономического эффекта при ограничениях на имеющиеся финансовые и материальные ресурсы.

### Формализация задачи координации движения поездов

На территории Украины одновременно совершают рейс сотни, а то и тысячи подвижных средств. Поэтому задача координации движения всего железнодорожного транспорта является достаточно трудоемкой из-за большой размерности. Следовательно, целесообразно осуществить декомпозицию системы диспетчерского управления на отдельные участки, соответствующие количеству железных дорог в Украине.

Опишем иерархическую систему диспетчерского управления движением поездов в зоне управления железных дорог Украины, которую будем называть железнодорожной зоной Украины (ЖЗУ). В ЖЗУ находится шесть диспетчерских центров железных дорог. Для каждого диспетчерского центра вводится зона управления, которую назовем диспетчерской зоной (ДЗ). Рассматриваемая система диспетчерского управления представляет собой двухуровневую иерархическую систему, в которой ДЗ являются подсистемами нижнего уровня, а ЖЗУ – подсистемой верхнего уровня (рис. 2). Внутри каждой ДЗ также находится двухуровневая система управления, содержащая в качестве верхнего уровня систему управления ДЗ и отдельные подвижные составы в качестве нижнего уровня.

С учетом двухуровневого представления ЖЗУ будем рассматривать два типа задач координации:

- 1) координация движения подвижных средств внутри одной ДЗ;
- 2) координация движения подвижных средств между ДЗ.



Рис. 2. Двухуровневая иерархическая система с заданной инфраструктурой

Система координации движения множества поездов, находящихся в некоторой зоне управления, должна обеспечить решение следующих основных задач. Первая из них состоит в определении очередности и истинного времени прибытия или отправления поездов с учетом бесконфликтности на железнодорожных перегонах. Вторая заключается в обеспечении

печении бесконфликтности движения в режиме реального времени. Основным критерием решения основных задач координации движения железнодорожного транспорта является безопасность движения, что обеспечивается сведением к минимуму числа конфликтных ситуаций (т.е. выполнением условий бесконфликтности движения). В процессе движения подвижных составов можно выделить конфликтные ситуации следующих типов.

1. При движении на параллельных курсах возможен конфликт при невозможности разъезда поездов. Особенно часто это происходит в условиях ограниченной пропускной способности, например на двухпутном перегоне в период закрытия одного из путей с временной установкой вставок для скрещения и обгона поездов, а также на высокозагруженных однопутных линиях. Подобные конфликты, как правило, возможно устранить путем изменения скоростного режима движения одного или нескольких поездов.

2. При движении на пересекающихся курсах, либо при отправлении и прибытии на станцию возможен конфликт, связанный с невозможностью одновременного проезда поездов. В этом случае конфликт может быть решен либо изменением скоростного режима поездов вплоть до остановки, либо изменением фактического времени отправления со станции одного из конфликтующих поездов. При устранении конфликта необходимо осуществить такое управление, которое не дает в дальнейшем конфликтов с другими поездами, минимизирует отклонение от расписания движения поездов и минимизирует затраты, связанные с этим управлением.

Количество возможных конфликтных ситуаций формально определяется числом невыполняющихся неравенств, рассмотренных ниже. Выделим следующие основные типы конфликтов в рамках одной ДЗ, для которых сформулируем условия бесконфликтности.

1. Конфликт «пересекающихся курсов» (рис. 3) определяется невозможностью одновременного проезда двумя поездами пересекающихся путей в некоторой точке А. Для каждой такой точки пересечения условие бесконфликтности можно записать следующим образом:

$$|t_i^A - t_j^A| \geq \Delta t^A, \tag{1}$$

где  $t_i^A, t_j^A$  – время прохождения точки А поездами  $i, j$  соответственно;  $\Delta t^A$  – минимально допустимый с точки зрения безопасности движения временной интервал сближения поездов в точке А.

Если обозначить множество всех точек пересечения железнодорожных путей в  $k$ -й ДЗ через  $P_k$ , то выполнение неравенств типа (1) для всех точек

$A \in P_k$  для всех подвижных средств, находящихся в этой зоне управления, обеспечит условие бесконфликтности движения на пересекающихся курсах.

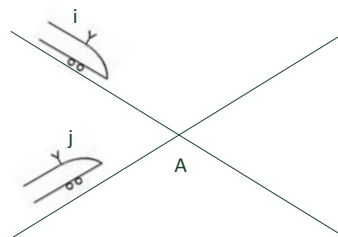


Рис. 3. Конфликт «пересекающихся курсов»

2. Конфликт «обгона» может возникнуть при движении поездов на параллельных курсах в случае сужения перегона (рис. 4).

В отличие от предыдущего типа конфликта, управление движением поездов в этом случае должно обеспечить не только безопасный проезд точек пересечения железнодорожных путей, но и выполнение заданной очередности движения, что обеспечивает выполнение расписания движения поездов.

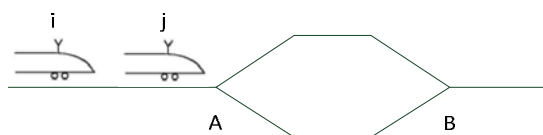


Рис. 4. Конфликт «обгона»

Формально, условия бесконфликтности в случае обгона можно записать следующим образом. Во-первых, необходимо соблюдение условия (1) для точек начала и конца участка обгона (рис. 4):

$$\begin{aligned} |t_i^A - t_j^A| &\geq \Delta t^A, \\ |t_i^B - t_j^B| &\geq \Delta t^B. \end{aligned}$$

Во-вторых, необходимо выполнить условие обгона:

$$(t_i^A - t_j^A)(t_i^B - t_j^B) < 0. \tag{2}$$

3. Конфликт «общего перегона» может возникнуть как для поездов, движущихся на параллельных курсах, так и для поездов, которые движутся на пересекающихся курсах (рис. 5), и связан, в первую очередь, с наличием «узкого места» на железнодорожных путях (например, временно закрытые пути в связи с ремонтом, однопутный участок и т.п.). Бесконфликтность движения на общем участке обеспечивается выполнением условий (1) для точек начала и конца общего участка, а также условием безопасного освобождения перегона. Таким образом, получим

$$\begin{aligned} |t_i^A - t_j^A| &\geq \Delta t^A \\ |t_i^B - t_j^B| &\geq \Delta t^B, \tag{3} \\ (t_i^A - t_j^A)(t_i^B - t_j^B) &> 0. \end{aligned}$$

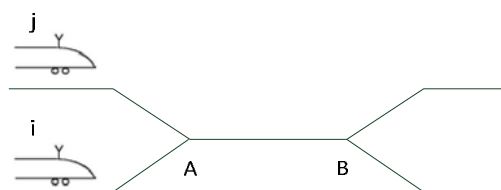


Рис. 5. Конфликт «общего перегона»

Следовательно, рассмотренные три типа конфликтов полностью описывают все возможные ситуации, требующие оперативного диспетчерского управления. Общее число невыполняющихся неравенств (1) – (3) является главным критерием оценки безопасного управления в ДЗ. Задача координации внутри ДЗ заключается в нахождении такого управления, которое бы обеспечивало безопасное движение при условии максимального выполнения графика движения поездов и минимальных затратах на управление.

Задача координации движения подвижных средств представляется как задача составления расписания движения с учетом обеспечения бесконфликтности движения. В результате решения этой задачи определяются очередность и плановое время прибытия и отправления подвижных средств. Полученное расписание является основой для решения второй основной задачи диспетчеризации на железнодорожном транспорте – оперативного управления в условиях отклонения реального графика движения от запланированного.

В дальнейшем будем полагать, что для решения задачи координации движения поездов в некоторой ДЗ необходимо достигнуть следующие цели:

- 1) обеспечить бесконфликтность движения на железнодорожных перегонах;
- 2) минимизировать отклонение времени прибытия поездов на станции от запланированного расписания движения;
- 3) минимизировать затраты на управления, связанные с обеспечением выполнения графика движения.

### ЗАДАЧА КООРДИНАЦІЇ РУХУ РУХОМИХ ЗАСОБІВ

Д.Б. Аркатов

У даній статті наведено короткий опис задачі координації руху поїздів, обґрунтована її актуальність для залізничного транспорту України. Розглянуті методи вирішення даної задачі на прикладі систем розвинутих країн. Розглянуті існуючі підходи до даної задачі. Наведено коротке представлення задачі в формальному вигляді, описані критерії та функції цілі.

**Ключові слова:** залізничний транспорт, координація руху, диспетчерська зона, математична модель, інформаційна технологія.

### THE TASK OF COORDINATING THE MOVEMENT OF MOBILE ASSETS

D.B. Arkatov

In given article the short description of a problem of coordination of movement of trains is resulted, its urgency for a railway transportation of Ukraine is proved. Ways of the decision of the given problem on an example of systems of the developed countries are considered. Existing approaches to the decision of the given problem are considered. Short representation of a problem in a formal kind is resulted, criteria of a problem and purpose function are described.

**Keywords:** railway transport, co-ordination of motion, controller's area, mathematical model, information technology.

### Выводы

Таким образом, в данной статье на основе анализа предметной области и существующих принципов решения задачи оперативного диспетчерского управления движением железнодорожного транспорта получены следующие результаты:

- 1) формализовано представление системы диспетчерского управления железных дорог Украины как двухуровневой иерархической системы;
- 2) выделены типы задач координации, которые решаются системой диспетчерского управления;
- 3) разработаны критерии оценки диспетчерского управления: бесконфликтность движения, отклонение от графика движения, затраты на управление;
- 4) формализованы типы конфликтных ситуаций в рамках одной диспетчерской зоны и сформулированы условия бесконфликтного движения поездов.

Направлением дальнейших исследований является синтез математической модели координации движения подвижных средств внутри одной диспетчерской зоны, а также формализация задачи координации движения на уровне всей железнодорожной зоны Украины.

### Список литературы

1. Гапанович В.А. Системы автоматизации и информационные технологии управления перевозками на железных дорогах / В.А. Гапанович, А.А. Грачев и др. – М.: Маршрут, 2006. – 544 с.
2. Процнер С. Автоматизация диспетчерского управления как средство повышения пропускной способности железных дорог / С. Процнер, С.В. Власенко, К.Х. Эрхард // Железные дороги мира. – М.: ОАО РЖД, 2010. – С. 36-39.
3. Борушко Ю.М. Применение спутниковых технологий на опытном полигоне южной железной дороги «Укрзалізниці» / Ю.М. Борушко, Н.Н. Титов, В.Н. Остапчук // Евразия вестни. – М.: ОАО РЖД, 2008. – С. 11-13.

Поступила в редколлегию 18.07.2012

**Рецензент:** д-р техн. наук, проф. М.Д. Годлевский, Национальный технический университет «Харьковский политехнический институт», Харьков.