

## *Системы и устройства автоматики и телемеханики*

УДК 625.1:004.94

**И. М. Кокурин, д-р техн. наук**

Институт проблем транспорта им. Н. С. Соломенко  
Российской академии наук

### **ТЕОРЕТИЧЕСКИЕ И ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЕ ОСНОВЫ ПОСТРОЕНИЯ АДАПТИВНОЙ СИСТЕМЫ ДИСПЕТЧЕРСКОЙ ЦЕНТРАЛИЗАЦИИ**

В статье излагаются принципы построения адаптивной системы диспетчерской централизации, представляющей собой перспективное направление развития современных систем управления движением на железнодорожных диспетчерских участках. Особое внимание в работе уделяется автоматизации информационного обеспечения принятия решений поездными диспетчерами при сохранении за ними функций принятия, корректировки и реализации решений. Показано, что для этого необходимо объединить имитационную систему моделирования процессов перевозок с автоматизированной системой выдачи времени хода – систему, взаимодействующую с автоматизированной системой выдачи и отмены предупреждений, с системой тяговых расчетов ИСКРА-ОТР.

диспетчерская централизация; информационное обеспечение поездных диспетчеров; методы повышения точности прогноза моментов времени прибытия поездов на станции; автоматизация принятия решений по организации движения

### **Введение**

Совершенствование отечественной диспетчерской централизации (ДЦ) в основном связано с заменой релейно-полупроводниковой аппаратуры, микропроцессорной и компьютерной, что увеличивает скорости и объемы передаваемой информации контроля и управления. Для поездного диспетчера ДЦ по-прежнему остается системой телеуправления, помогающей выполнять функции реализации принятых решений по организации движения поездов [1–3].

Получая с помощью системы телеконтроля информацию о занятии и освобождении изолированных участков, диспетчер объединяет в своем восприятии места расположения поездов с их номерами, предоставляемыми информационной системой ГИД «Урал», и показаниями часов или получает

сообщения дежурных о времени проследования поездами тех станций, где дежурство сохраняется. На основе этих данных диспетчер прогнозирует моменты времени прибытия поездов на станции участка, определяет станции скрещений и обгонов и наносит на график исполненного движения или только на его фрагмент планируемые линии хода поездов [4–8].

Если поезд движется по нормативному графику, то прогнозируется сохранение графиков станций обгонов и скрещений. В случаях отклонений от нормативного графика принимаются меры по сокращению опозданий поездов, которые требуется передать на соседний участок по нормативному расписанию (пассажирских, пригородных, контейнерных и т. д.).

При более значительных отклонениях диспетчеру приходится организовывать обгоны и скрещения поездов на станциях, не предусмотренных нормативным графиком, которые выбираются по условию исключения задержек приоритетных поездов и длительных стоянок останавливаемых поездов [9], учитывая условия их движения и особенности параметров.

Передача диспетчером команд телеуправления на открытие светофоров должна осуществляться только при уверенности в том, что расписание будет выполнено.

Автоматическая реализация накопленных конфликтных маршрутов в виде заданной диспетчером последовательности или посредством нанесения линий хода поездов на монитор ДЦ не допускается, если не гарантируется надежное исключение ложной свободности стрелочных рельсовых цепей, приводящей к преждевременному размыканию маршрутов. Кроме того, автоматическое задание маршрутов по нанесенным диспетчером на монитор ДЦ линиям хода поездов эффективно только при условии, что в процессе движения поездов диспетчеру не потребуется изменять нанесенный на монитор фрагмент прогнозируемого графика. Анализ показывает, что на однопутных участках такие изменения, включая двух- и трехкратные, могут потребовать до 80 % планируемых диспетчерами линий хода поездов.

Передача команд телеуправления на открытие светофоров поездным диспетчером повышает безопасность движения по сравнению с автоматическим способом, поскольку диспетчер, выбирая моменты времени передачи команд телеуправления, учитывает расположение подвижных единиц и надежное занятие и освобождение рельсовых цепей по стабильной (немигающей) индикации табло или монитора ДЦ.

Например, диспетчер начинает задавать встречный маршрут отправления ожидающему поезду не в момент размыкания конфликтной входной стрелочной секции пропускаемым безостановочно встречным поездом, а после получения стабильной индикации занятия этим поездом первой секции маршрута отправления в другой горловине станции. В такой ситуации прибывающий поезд нормальной длины, надежно занимая путь приема и первую секцию маршрута отправления, обязательно освободит конфликтную секцию

маршрутов приема и отправления. Это исключает перевод стрелки под составом при кратковременной потере поездного шунта на этой секции под последним вагоном прибывающего поезда.

Указанные условия рекомендуется контролировать и в алгоритмах адаптивной системы диспетчерской централизации (АДЦ), а также исключать, проверяя дополнительные условия, ложную фиксацию занятия поездом изолированных секций маршрутов и их преждевременное размыкание при кратковременных выключениях электропитания.

Поскольку неожиданные изменения условий движения поездов и отказы технических средств нельзя исключить, за диспетчером необходимо оставить принятие, корректировку и реализацию решений, а целью АДЦ должно стать информационное обеспечение, помогающее диспетчеру выполнять эти функции и улучшать результаты его работы.

## 1 Прогноз времени прибытия поездов

Наиболее сложной и трудоемкой функцией поездного диспетчера остается прогноз моментов времени прибытия поездов на станции диспетчерского участка. Это требует учета множества сложно взаимодействующих факторов и вычислений, которые из-за дефицита времени у диспетчера приходится заменять приближенной оценкой, особенно при выдаче машинистам предупреждений об изменениях установленной скорости. Поэтому автоматизация этого процесса является первоочередной задачей развития информационного обеспечения поездного диспетчера при АДЦ.

Прогнозируемые моменты времени прибытия поездов необходимы при определении достаточной длительности возникающих межпоездных и станционных интервалов для организации обгонов и скрещений поездов без задержек. Это требование выполняется, если открывать входной светофор поезду, принимаемому на путь станции обгона, скрещения или безостановочного пропуска не позднее вступления поезда на второй участок приближения к станции.

Поэтому, прогнозируя момент времени занятия обгоняемым или останавливаемым для скрещения поездом 1 второго участка приближения к станции  $n$  обгона или скрещения  $t_{n1}^{2уп}$ , необходимо учитывать следующие моменты времени  $t$  и затраты (промежутки) времени  $\tau$ :

$$t_{n1}^{2уп} \geq t_1^{нп} + \sum_i^{n-1} \tau_{i1}^{пх} + \tau_{n1}^{2уп} + \sum_i^k \tau_{i1}^{ст} + \sum_i^k \tau_{i1}^p + \sum_i^k \tau_{i1}^3 \geq t_{n1}^{обх}, \quad (1)$$

где  $t_1^{нп}$  – время начала прогнозирования момента времени занятия обгоняемым или останавливаемым для скрещения поездом 1 второго участка приближения

к планируемой станции обгона или скрещения  $n$ , определяемое АДЦ как время надежного занятия поездом 1 указанного пункта на диспетчерском участке (рельсовой цепи или датчика расположения поезда);  $\tau_{i1}^{пх}$  – перегонное время хода обгоняемого или останавливаемого поезда 1 от станции начала прогнозирования  $i$  до станции  $n - 1$ , предшествующей станции обгона или скрещения  $n$ ;  $\tau_{n1}^{2уп}$  – перегонное время хода обгоняемого или останавливаемого поезда от предыдущей станции  $n - 1$  до второго участка приближения к станции обгона или скрещения  $n$ ;  $\tau_{i1}^{ст}$  – длительности стоянок обгоняемого или останавливаемого поезда 1 на  $i$ -й станции, расположенной до станции планируемого обгона или скрещения  $n$ ;  $\tau_{i1}^p$  – время на разгон обгоняемого или останавливаемого поезда 1 после стоянки;  $\tau_{i1}^3$  – время на замедление обгоняемого или останавливаемого поезда 1 при остановке для стоянки;  $k$  – количество станций стоянок обгоняемого или останавливаемого поезда 1 на станциях, расположенных до станции планируемого обгона или скрещения  $n$ .

Момент времени  $t_{n1}^{обх}$  открытия входного светофора обгоняемому или останавливаемому для скрещения поезду 1 на станцию обгона или скрещения  $n$  определяется АДЦ добавлением к моменту времени  $t_{np}^{пп}$  прибытия предыдущего поезда на станцию  $n$ , фиксируемому АДЦ как момент освобождения этим поездом последней секции маршрута приема, суммы затрат времени на размыкание маршрута прибытия на станцию обгона или скрещения предыдущего поезда  $\tau_n^{рмп}$ , на передачу информации об этом поездному диспетчеру  $\tau_{np}^{рмд}$ , восприятие информации, принятие и реализацию решения диспетчером на открытие входного светофора обгоняемому или останавливаемому поезду  $\tau_{n1}^{прд}$ , передачу распоряжения диспетчера на станцию  $n$  об открытии входного светофора  $\tau_{n1}^{рдо}$ , перевод и открытие входного светофора обгоняемому и/или останавливаемому для скрещения поезду  $\tau_{n1}^{обх}$ :

$$t_{n1}^{обх} = t_{no}^{пп} + \tau_{no}^{рмп} + \tau_{np}^{рмд} + \tau_{n1}^{прд} + \tau_{n1}^{рдо} + \tau_{n1}^{обх}. \quad (2)$$

При этом необходимо учитывать затраты времени на поэтапное снижение скорости приближения поездов к выходным (маршрутным) светофорам с красными огнями, замедление на 15–25 секунд размыкания последних стрелочных секций в маршрутах приема (передачи) и соседних негабаритных стрелочных секций, а также **увеличение времени** автовозврата стрелок до 60 секунд.

Выполнение неравенств (1) и (2) создает условия, необходимые для исключения остановки обгоняемого или останавливаемого для скрещения поезда 1 перед входным светофором станции обгона или скрещения.

Прогнозируемый АДЦ момент времени занятия поездом 2, обгоняющим или пропускаемым по станции скрещения первым, второго участка приближения  $t_{n2}^{2уп}$  к станции обгона или скрещения  $n$  определяется выражениями, аналогичными (1) и (2) при условии замены индексов:

$$t_{n2}^{2\text{уп}} \geq t_2^{\text{нп}} + \sum_i^{n-1} \tau_{i2}^{\text{пх}} + \tau_{n2}^{2\text{уп}} + \sum_i^k \tau_{i2}^{\text{ст}} + \sum_i^k \tau_{i2}^{\text{р}} + \sum_i^k \tau_{i2}^3 \geq t_{n2}^{\text{обх}}; \quad (3)$$

$$t_{n2}^{\text{обх}} = t_{n1}^{\text{пп}} + \tau_{n1}^{\text{рмп}} + \tau_{n1}^{\text{рмд}} + \tau_{n2}^{\text{прд}} + \tau_{n2}^{\text{рдо}} + \tau_{n2}^{\text{вхв}}, \quad (4)$$

где  $\tau_{n2}^{\text{вхв}}$  – затраты времени на перевод стрелок и открытие входного и выходного светофоров обгоняющему или пропускаемому по станции первым при скрещении поезду 2.

Неравенства (3) и (4) проверяют достаточность межпоездного интервала для открытия входного светофора не позднее вступления обгоняющего или неостанавливаемого при скрещении поезда 2 на второй участок приближения к планируемой станции обгона или скрещенния, что является необходимым условием выполнения обгона или скрещенния без задержек на этой станции.

Выполнение условий (3) и (4), при соблюдении минимальных межпоездных интервалов, на следующей станции по направлению движения останавливаемых поездов сокращает их стоянки [9]. Поэтому для обгона или скрещенния следует выбирать станцию, предшествующую той, на которой указанные условия не выполняются, учитывая наличие достаточного количества путей соответствующей полезной длины для приема поездов.

В условиях движения поездов по нормативному графику значения их прогнозируемого перегонного времени хода и длительности стоянок принимаются равными величинам, предусмотренным нормативным графиком. При отклонениях этих поездов от нормативного графика диспетчеру приходится прогнозировать моменты времени прибытия поездов на станции диспетчерского участка с учетом необходимости сокращать перегонное время хода и длительность стоянок с целью восстановления движения по графику.

Прогноз перегонного времени хода грузовых поездов осложняется значительными изменениями массы и длины составов, использованием тяговых характеристик локомотивов, значительным влиянием профиля пути, изменениями установленной скорости и ограничениями устройств тягового электроснабжения.

## 2 Учет тяговых расчетов

Тяговые расчеты параметров движения поездов для составления нормативных графиков выполняются для расчетных поездов и поездов повышенного веса при установленных скоростях, определенных приказом руководства железной дороги ко времени выполнения тяговых расчетов. Установленные скорости изменяются на период ремонтов или на длительные сроки, что требует корректировки перегонного времени хода поездов.

Кроме того, перегонное время хода поездов всех категорий изменяется в широких пределах при выдаче предупреждений об изменениях установлен-

ной скорости. Поэтому перегонное время хода поездов требуется определять оперативно, выполняя тяговые расчеты в моменты времени поступления информации об изменениях установленной скорости.

С этой целью необходимо объединить в пределах диспетчерского участка АДЦ с системой тяговых расчетов ИСТРА-ОТР, разработанной специалистами Дальневосточного государственного университета путей сообщения (Хабаровск) и применяемой на всей сети дорог ОАО «РЖД», которая определяет перегонное время хода поездов всех категорий только при условии движения без задержек перед светофорами.

Оперативная передача информации в АДЦ об изменениях установленной скорости из автоматизированной системы выдачи и отмены предупреждений (АСВОП) и ГИД «Урал» с помощью разработанной ОАО «Внешвизцентр» автоматизированной системы выдачи показаний времени хода (АСВВХ) [10], дополненной передачей по радиоканалу результатов тяговых расчетов машинам локомотивов, обеспечит наиболее точный прогноз моментов времени прибытия поездов на станции диспетчерских участков.

При разработке программного обеспечения АДЦ необходимо предусмотреть построение прогнозируемых графиков исполненного движения поездов в условиях их движения при зеленых сигнальных показаниях локомотивных светофоров. Для этого потребуются включить в состав АДЦ комплекс имитационного моделирования процессов перевозок (ИМПП) [11], разработанный и совершенствуемый ИПТ РАН, который строит прогнозируемый график движения поездов.

В момент поступления поезда на диспетчерский участок номер поезда должен автоматически объединяться с информацией о нем из системы ГИД «Урал» и передаваться в АДЦ, которая на основе тяговых расчетов, с учетом условий (1)–(4), проложит на мониторе диспетчера прогнозируемые линии хода поездов по участку.

Если поезд поступит на участок по графику и проследует предыдущий диспетчерский участок по расписанию, то АДЦ проложит на мониторе ГИД «Урал» графиковую линию хода этого поезда.

При отклонениях от нормативного графика прогнозируемая линия хода поезда строится по результатам тяговых расчетов с учетом возможности нагона опоздания. Станции обгона и скрещения этого поезда выбираются по условиям, исключающим задержки поездов.

### 3 Учет статистических данных

В период адаптации системы к условиям диспетчерского участка, когда отсутствуют достаточные статистические данные, в качестве прогнозируемых значений перегонного времени хода поездов АДЦ передает в ГИД «Урал»

информацию о линиях хода, полученную в результате тяговых расчетов, выполненных с учетом параметров участка, поездов и системы интервального регулирования их движения, а также действующих ограничений скоростей.

При накоплении в АДЦ достаточных статистических данных о временных параметрах движения поездов и длительностях станционных интервалов, с учетом особенностей участка и вождения поездов машинистами, станет возможным использование для уточнения перегонного времени хода статистических данных, разделенных по параметрам поездов, локомотивам и машинистам.

Контроль занятия и освобождения поездами всех блок-участков перегонов следует использовать для определения фактических временных параметров движения поездов, передача которых по радиоканалу машинистам локомотивов повысит точность соблюдения машинистами прогнозируемых параметров.

В условиях реализации предлагаемых мероприятий АДЦ на основе анализа фактических параметров движения поездов поможет повышать точность прогноза линий их хода по перегонам диспетчерских участков и показатели работы поездных диспетчеров.

## Заключение

Результаты эксплуатации АДЦ, на основе максимального учета особенностей диспетчерских участков, тяговых расчетов, а также измеряемых и математически обрабатываемых параметров движения поездов, повысят точность прогноза моментов времени их прибытия на станции, что создаст условия для сокращения длительностей стоянок и улучшения показателей выполняемой работы.

## Библиографический список

1. Гавзов Д. В. Диспетчерские центры управления / Д. В. Гавзов, А. Б. Никитин // Транспорт: наука, техника, управление. – 1993. – Т. 2. – С. 2.
2. Саенко Н. Н. Автоматизация диспетчерского управления перевозочным процессом / Н. Н. Саенко, Д. В. Гавзов, А. Б. Никитин // Автоматика, телемеханика и связь на железных дорогах. – 1995. – № 6. – С. 9.
3. Талалаев В. И. Концентрация диспетчерского управления / В. И. Талалаев, Д. В. Гавзов, А. Б. Никитин // Железнодорожный транспорт. – 1997. – № 9. – С. 30.
4. Кузнецов Г. А. ГИД «Урал-ВНИИЖТ»: аналитические функции и автоматизация труда диспетчеров / Г. А. Кузнецов, С. В. Крашенинников, В. П. Крайсвит-

- ний, С. А. Свинин, Д. А. Матвеев, И. К. Вагизов // Железнодорожный транспорт. – 2012. – № 3. – С. 21–25.
5. Усков А. В. Движение по расписанию / А. В. Усков // Железнодорожный транспорт. – 2016. – № 6. – С. 52–55.
  6. Розенберг И. Н. Совершенствование системы управления содержанием эксплуатационной инфраструктуры с применением современных информационных технологий / И. Н. Розенберг, А. М. Замышляев, Г. Б. Прошин // Надежность. – 2009. – № 4 (31). – С. 14–22.
  7. Грошев Г. М. Исследование надежности АРМ диспетчерского персонала и методы выхода из сбойных ситуаций / Г. М. Грошев, А. В. Малкаев // Известия Петербургского университета путей сообщения. – 2008. – № 3. – С. 26–35.
  8. Тимченко В. С. Определение «узких мест», ограничивающих пропускную способность железнодорожных направлений / В. С. Тимченко, И. М. Кокурин // Современные проблемы транспортного комплекса России. – 2015. – Т. 5. – № 1. – С. 11–16.
  9. Кокурин И. М. Автоматизация информационной поддержки принятия решений поездным диспетчером при организации движения поездов / И. М. Кокурин, А. Б. Васильев // Автоматика на транспорте. – 2015. – Т. 1. – № 2. – С. 156–167.
  10. Кокурин И. М. Инновационные решения в управлении эксплуатационной работой железнодорожного транспорта с использованием имитационного моделирования : монография / И. М. Кокурин, Ф. С. Пехтерев, А. С. Нестеров, Г. В. Верховых, А. А. Краснощек, В. А. Персианов. – СПб. : Внешвузцентр, 2009. – 88 с.
  11. Кокурин И. М. Оценка методом имитационного моделирования возможности освоения прогнозируемых объемов перевозок грузов по железнодорожной линии, обслуживающей морской порт / И. М. Кокурин, В. С. Тимченко // Вестник транспорта Поволжья. – 2014. – № 6. – С. 39–44.

*Iosif M. Kokuryn,*  
Solomenko Institute of transport problems  
of the Russian academy of sciences (ITP RAS)

### **Theoretical and technological foundation of constructing a self-organizing centralized traffic control system**

Building principles of a self-organizing centralized traffic control system (CTCS) were stated in the article, the latter represents a prospective line of modern controlling train movement systems' development on railway subdivisions. Special attention was paid to automation of information support of decision making by traffic controllers, while keeping their duties of decision making, updating and implementation. It was demonstrated, that, in order to achieve this goal, it was

necessary to combine the system of transit simulation modeling with an automation system of time taken data output (ASVVKh) in CTCS system, interacting with an automation system of issuing and cancelling warnings and a system of grade computations ISKRA-OTR.

centralized traffic control; information support of traffic controllers; methods for improving prediction accuracy of train arrival time; automation of operation of trains decision making

### References

1. Gavzov D. V., Nikitin A. B. (1993). Dispatching control centers [Dispetcherskie centry upravleniya], Transport: science, techniques, control [Transport: nauka, tekhnika, upravlenie], vol. 2. – P. 2.
2. Saenko N. N., Gavzov D. V., Nikitin A. B. (1995). Automation of the dispatch control of the transportation process [Avtomatizatsiya dispetcherskogo upravleniya perevozhnym processom], Automation, remote control and communication on railways [Avtomatika, telemekhanika i svyaz' na zheleznnyh dorogah], issue 6. – P. 9.
3. Talalaev V. I., Gavzov D. V., Nikitin A. B. (1997). Concentration of dispatch control [Koncentratsiya dispetcherskogo upravleniya], Railways transport [Zheleznodorozhnyj transport], issue 9. – P. 30.
4. Kuznecov G. A., Krashennnikov S. V., Krajsvitnij V. P., Svinin S. A., Matveev D. A., Vagizov I. K. (2012). “Ural-VNIIZhT”: Analytical functions and automation of labor of dispatchers [GID «Ural-VNIIZHT»: analiticheskie funktsii i avtomatizatsiya truda dispetcherov], Railways transport [Zheleznodorozhnyj transport], issue 3. Pp. 21–25.
5. Uskov A. V. (2016). Movement on schedule [Dvizhenie po raspisaniyu], Railways transport [Zheleznodorozhnyj transport], issue 6. – Pp. 52–55.
6. Rozenberg I. N., Zamyshlyayev A. M., Proshin G. B. (2009). Control system enhancement of an operational infrastructure with application of state-of-the-art information technologies [Sovershenstvovanie sistemy upravleniya sodержaniem ehkspluatatsionnoj infrastruktury s primeneniem sovremennyh informatsionnyh tekhnologij], Reliability [Nadezhnost'], issue 4 (31). – Pp. 14–22.
7. Groshev G. M., Malkaev A. V. (2008). Investigation of the reliability of the dispatching personnel workstation and methods of breaking out of the failure situations [Issledovanie nadyozhnosti ARM dispetcherskogo personala i metody vyhoda iz sbornykh situatsij], Proceedings of Petersburg transport university [Izvestiya Peterburgskogo universiteta putej soobshcheniya], issue 3. – Pp. 26–35.
8. Timchenko V. S., Kokurin I. M. (2015). The “Bottlenecks” Determination, Limiting the Througput of Railway Directions [Opredelenie «uzkih mest», ogranichivayushchih propusknyuyu sposobnost' zheleznodorozhnykh napravlenij], Modern Problems of Russian Transport Complex [Sovremennye problemy transportnogo kompleksa Rossii], vol. 5, issue 1. – Pp. 11–16.
9. Kokurin I. M., Vasil'ev A. B. (2015). Automation of decision-making information support for train dispatcher for train traffic organization [Avtomatizatsiya informatsionnoj podderzhki prinyatiya reshenij poezdnykh dispetcherom pri organizatsii dvizheniya

- poezdov], Automation on transport [Avtomatika na transporte], vol. 1, issue 2. – Pp. 156–167.
10. Kokurin I. M., Pekhterev F. S., Nesterov A. S., Verhovyyh G. V., Krasnoshchek A. A., Persianov V. A. (2009). Innovative solutions in managing the operational work of the railway transport using simulation modeling [Innovacionnyye resheniya v upravlenii ehkspluatatsionnoj rabotoj zheleznodorozhnogo transporta s ispol'zovaniem imitacionnogo modelirovaniya], monograph [monografiya]. Publishing center vneshvuztsentr [Izd-vo Vneshvuzcentr], St. Petersburg. – 88 p.
  11. Kokurin I. M., Timchenko V. S. (2014). Estimation by the method of simulation modeling of the possibility of mastering the predicted volumes of transportation of goods along the railway line serving the seaport [Ocenka metodom imitacionnogo modelirovaniya vozmozhnosti osvoeniya prognoziruemykh ob'emov perevozok gruzov po zheleznodorozhnoj linii, obsluzhivayushchej morskoy port], Bulletin of the Volga region transport [Vestnik transporta Povolzh'ya], issue 6. – Pp. 39–44.

*Статья представлена к публикации членом редколлегии Вал. В. Сапожниковым  
Поступила в редакцию 18.01.2017, принята к публикации 17.03.2017*

*КОКУРИН Иосиф Михайлович* – доктор технических наук, профессор, главный научный сотрудник лаборатории проблем организации транспортных систем Института проблем транспорта им. Н. С. Соломенко Российской академии наук (ИПТ РАН), Санкт-Петербург.  
e-mail: kokyrinim@mail.ru

© Кокурин И. М., 2017