

С. Протцнер (S. Protzner), С. В. Власенко, К.-Х. Эрхард (К.-Н. Erhard),
Й. Шмидтке (Y. Schmidtke, все — компания Siemens)

Автоматизация диспетчерского управления как средство повышения пропускной способности железных дорог

Компания Siemens разработала программный комплекс, обеспечивающий оптимизацию в реальном масштабе времени расписаний движения поездов. При этом преследовалась цель минимизировать задержки поездов при возникновении сбоев в перевозочном процессе в условиях ограниченной пропускной способности инфраструктуры, в частности на однопутных линиях с двухпутными вставками для скрещения и обгона поездов.

На железнодорожном транспорте нередки ситуации, когда отказ напольных устройств или неисправность в одном из проходящих поездов при высокой интенсивности движения приводит к сбоям в исполнении графиков и массовым задержкам на всем участке. 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 (например, в горной местности) с постоянно действующими двухпутными вставками (рис. 1). Небольшие интервалы между скрещениями поездов требуют безотказной работы и слаженного взаимодействия между всеми участниками эксплуатационного процесса и объектами инфраструктуры, а выход из строя любого из элементов системы даже на короткое время приводит к многочасовым задержкам, а порой и к отмене поездов. Особенно тя-

желы такие последствия для пригородных пассажирских сообщений с высокой скоростью движения, расписанным заранее графиком движения и запланированными в нем минутными остановками на отдельных пунктах. В этих условиях опоздание к одному из скрещений невозможно в дальнейшем нагнать как задержавшемуся поезду, так и остальным связанным с его движением встречным и попутным поездам. Поправки, вносимые в этом случае диспетчером, носят субъективный характер, так как человек не может быстро просчитать и выбрать оптимальный вариант



Рис. 1. Однопутный участок в горной местности с интенсивным движением поездов (фото: DB, Б. Банажак)

минимизации последствий сбоя в движении.

Компания Siemens предложила новый 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. Основная цель корректировки расписания — сокращение опозданий поездов в связи с эксплуатационными ограничениями. Моделирование движения поездов на высокозагруженном участке продемонстрировало эффективность применения методов дискретной оптимизации.

Программный комплекс оптимизации графика

Задачами диспетчерского управления движением поездов являются сравнение сведений о фактическом движении поездов с установленным графиком и корректировка расписания при существенных отклонениях. При корректировке расписания для сокращения опозданий поездов учитываются ограничения следующих видов:

- топологические (длина путей, их свобода, уклоны, ограничения скорости);

- поездные (длина поезда, приоритетность и тяговые характеристики);

- графиковые (время отправления, промежуточные остановки и согласованный подход поездов к станциям).

В разработанной системе применяется новый метод оптимизации автоматического диспетчерского управления движением поездов. Для обеспечения оптимального результата поправки вносятся не локально, а создается полностью новый график движения. Кроме того, в рамках системы рассматривается не только изменение времени отправления (как в стандартных модулях управления движением поездов), но также альтернативные маршруты и изменение порядка следования поездов. Для работы в реальном времени (т.е. обеспечения быстроты расчетов) используются сложные модели и алгоритмы дискретной оптимизации.

Эта технология уже несколько лет используется в системах подготовки расписаний и позволяет составлять бесконфликтные графики движения с точностью до маршрутов и секунд. В настоящее время идет работа над интеграцией алгоритмов составления графиков в системы управления, чтобы повысить уровень автоматизации железных дорог. Одна из версий данной системы, например, установлена на грузовой железной дороге ВНР Billiton Iron Ore в Австралии. В настоящей статье рассмотрено пилотное онлайн-приложение для магистрального транспорта.

Компоненты системы диспетчерского управления

Предлагаемая система управления движением поездов состоит из компонентов, показанных на рис. 2.

База данных по графикам предназначена для хранения нормативных, оперативных и исполненных графиков диспетчерской системы.

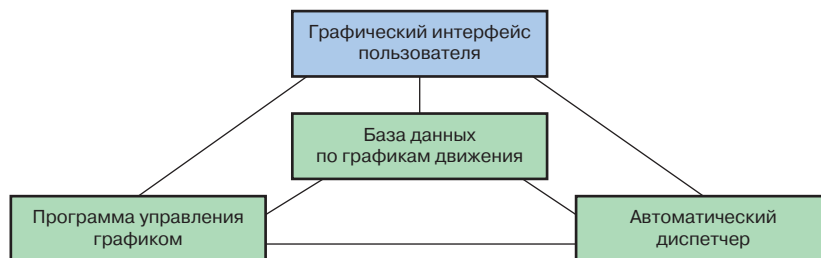


Рис. 2. Компоненты системы диспетчерского управлением движением поездов

Нормативный график обычно составляется автономными системами планирования, и именно относительно этого графика оцениваются фактические задержки поездов. В оперативном графике отражены как фактическое передвижение поездов в прошлом, так и прогноз движения на заданный период. Данный график используется в автоматической системе диспетчерского управления движением поездов. Исполненный график — это итоговое состояние оперативного графика.

Программа управления графиком формирует оперативный график, включая в него полученные от программы слежения за поездами данные об их текущем местоположении. Расчет прогнозируемого движения для одного или нескольких поездов производится на основе данных о фактическом движении и существующих ограничениях (например, ограничениях скорости или занятости путей). Существенные отклонения фактического движения от заданного могут привести к нестыковкам в прогнозируемом графике: одновременному подходу встречных поездов к однопутному участку и т.п. Программа управления графиком автоматически выявляет подобные конфликты и самостоятельно запускает их разрешение компонентами автоматического диспетчера. Сформированный оперативный график передается в систему управления для автоматической установки поездных маршрутов.

Автоматический диспетчер является основным механизмом регулирования конфликтов, возникаю-

щих в оперативном графике. Кроме того, для общей оптимизации движения поездов периодически может выполняться полная смена графика. Основной целью процедуры оптимизации является сокращение опозданий поездов (увеличение пропускной способности), вызванных эксплуатационными ограничениями. Результаты оптимизации, произведенной автоматическим диспетчером, вносятся в оперативный график программой управления графиком. Также автоматический диспетчер отвечает за обработку команд, вводимых вручную оператором через графический интерфейс графика движения.

Графический интерфейс пользователя отображает графики разных типов и позволяет оператору вносить изменения в график-прогноз. Главным окном является интерфейс диспетчерского графика, в котором движение поездов по ниткам отображается как функция времени. На рис. 3 приведен пример такого графика. Пользователь может работать непосредственно в самом окне, создавая, выбирая, изменяя или удаляя объекты графика (отдельные нитки, маршруты, остановки, скрещения и т.д.).

Моделирование

Для оценки эффективности работы автоматического диспетчера все соответствующие компоненты были интегрированы в имитационную модель Falko, разработанную для составления и корректировки графиков движения поездов

(рис. 4). В состав модели входят следующие компоненты.

Ядро моделирования обеспечивает связь между блоками модели

и синхронизацию всех событий в ходе моделирования.

Блок моделирования процессов отвечает за реалистичное модели-

рование движения поезда (кривые скорости) и напольного оборудования (время перевода стрелок).

Блок моделирования слежения за поездами генерирует сведения о текущем местоположении поездов на рельсовых цепях на основе сообщений о занятости путей, полученных от систем централизации.

Блок моделирования автоматической установки маршрутов передает требования на установку маршрутов в блок моделирования централизации на основе оперативного графика.

Блок моделирования централизации имитирует работу систем централизации, отвечающих за безопасность движения поездов на моделируемом участке.

Графический интерфейс пользователя отображает топологию путей, движущиеся по ним поезда и состояние систем централизации.

На рис. 5 изображен графический интерфейс пользователя при моделировании с помощью Falko. Местоположение поездов и состояние напольных устройств представлены разными цветами.

Взаимодействие с системами железнодорожной автоматики

Для работы программного комплекса необходима актуальная информация о местоположении поезда и основных параметрах подвижного состава и пути, которая может поступать в диспетчерскую систему как от локомотивных, так и от напольных устройств. Кроме того, при планировании работ на путях или в других особых случаях она может вноситься в систему диспетчером. После проведения расчетов и корректировки либо формирования нового графика движения предусматривается воздействие автодиспетчера на системы установки маршрутов для обеспечения нагона одних или снижения скорости движения других поездов. Нагон поезда может, например, достигаться

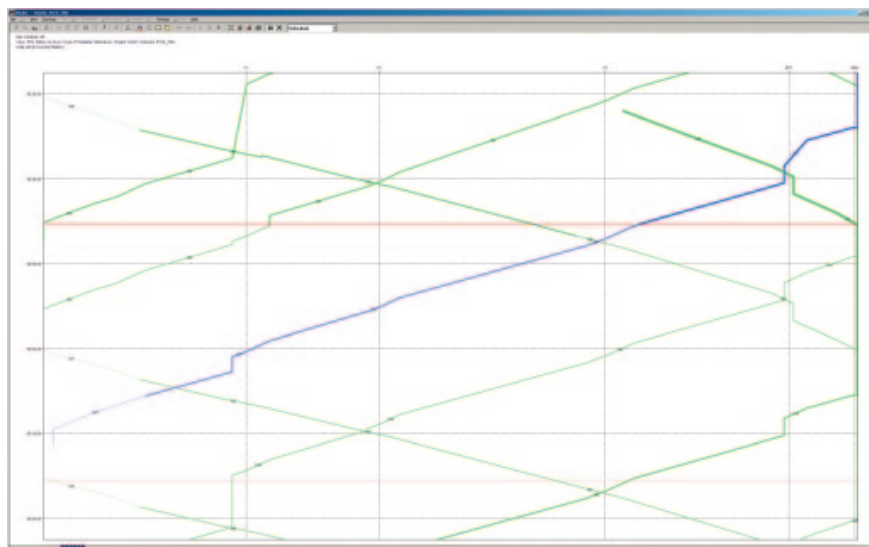


Рис. 3. Интерфейс диспетчерского графика: изображение оперативного графика (красной линией обозначено текущее время)

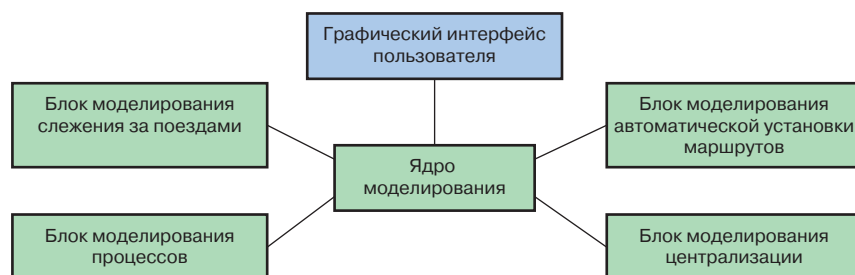


Рис. 4. Компоненты имитационной модели Falko

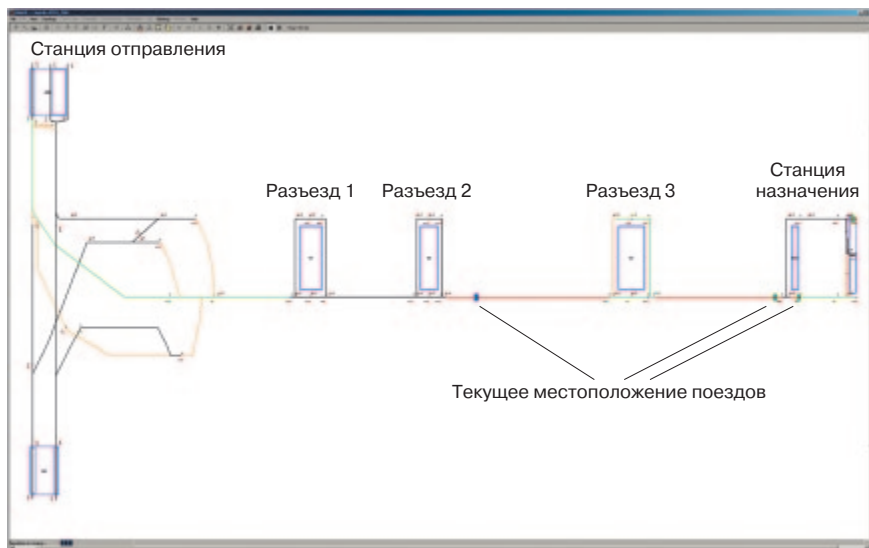


Рис. 5. Моделирование однопутного участка с разъездами

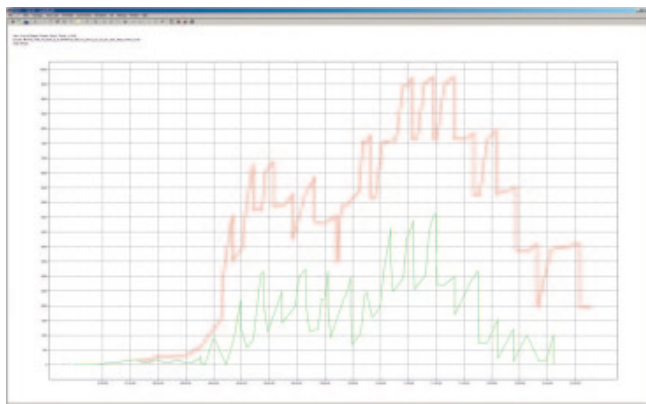


Рис. 6. Результат моделирования общего опоздания поездов в виде функции времени при отказе сигнала (кривая красного цвета — без автоматического диспетчера, кривая зеленого цвета — с автоматическим диспетчером)

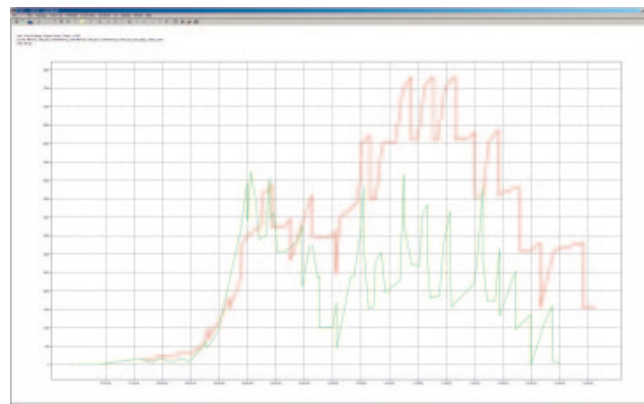


Рис. 7. Результат моделирования общего опоздания поездов в виде функции времени при неисправности двери поезда (кривая красного цвета — без автоматического диспетчера, кривая зеленого цвета — с автоматическим диспетчером)

пропуском его по маршрутам с наименьшими скоростными ограничениями, а также сокращением запланированного времени остановок на промежуточных пунктах. Для своевременного снижения скорости проследования поезда с целью пропуска опаздывающего может предусматриваться, например, передача маршрута следования по главному пути двухпутной вставки встречному поезду, а также установка маршрутов за меньшее число блок-участков перед поездом либо включение менее разрешающего сигнального показания. Выбор вариантов воздействия определяется применяемыми системами ЖАТ, а также установленными на железных дорогах правилами организации движения поездов.

Результаты экспериментов

Для проверки модели Falko был составлен нормативный график для однопутного участка длиной 50 км с тремя разъездами (см. рис. 5). График рассчитан на движение поездов с интервалом не менее 15 мин. Номинальное время остановки на станциях составляет 2 мин. График составлялся в расчете на поезда Desiro с максимальным пассажиропотоком.

Оценка производилась по двум циклам моделирования для каждого из описанных далее сценариев:

- цикл 1 — моделирование с использованием программы управления графиком и автоматической установкой маршрутов, но без автоматического диспетчера. Таким образом в этом цикле был исполнен нормативный график;

- цикл 2 — моделирование с привлечением автоматического диспетчера. Каждые 10 мин осуществлялась корректировка графика (по модельному времени). Таким образом непрерывно выполнялась оптимизация оперативного графика с учетом текущей поездной ситуации (актуальное местоположение поездов и возникшие отклонения).

При моделировании были реализованы два сценария со сбоями исполнения графика.

Сценарий 1 предусматривал отказ маршрутного сигнала на разъезде 2 (верхний путь) между 8:00 и 8:30. В результате в указанный промежуток времени невозможно регулярное движение поездов по верхнему пути разъезда.

Сценарий 2 включал неисправность двери поезда 103 в течение 15 мин при отправлении с конечной станции в 8:30.

На рис. 6 показана общая длительность опозданий всех поездов за время моделирования в двух циклах первого сценария. При использовании периодического обновле-

ния графика достигается существенное, не менее двукратное, сокращение опозданий поездов.

На рис. 7 показана общая длительность опозданий всех поездов за время моделирования в двух циклах второго сценария. В течение первого часа после возникновения неисправности (между 8:30 и 9:30) оба цикла ведут себя одинаково. В дальнейшем автоматический диспетчер сокращает опоздания так же, как это было в первом сценарии.

Заключение

Разработанный комплекс автоматизации диспетчерского управления движением поездов основан на глобальной оптимизации графика движения в сочетании с применением моделей и алгоритмов теории графов. Он позволяет существенно сократить опоздания поездов по сравнению с ручным диспетчерским управлением при возникновении технических сбоев, что подтверждено моделированием близких к действительности сценариев для реальных железнодорожных линий. При этом можно ожидать также снижения энергозатрат благодаря исключению дополнительных остановок и троганий с места, вызванных задержками других поездов.