

Оценка перспектив сокращения межпоездных интервалов за счет применения новых технологий интервального регулирования



А. С. Мишарин,
д-р техн. наук, президент
Российской академии
транспорта,



Н. Г. Шабалин,
д-р техн. наук, начальник
департамента научных
исследований, аналити-
ки и совершенствования
научно-технической
деятельности АО «Научно-
исследовательский
и проектно-конструктор-
ский институт информа-
тизации, автоматизации
и связи на железнодорожном транспорте»,



С. В. Бушуев,
канд. техн. наук,
проректор по научной
работе Уральского
государственного
университета путей
связи

В условиях динамично и неравномерно изменяющихся объемов перевозок вопросы ускоренного наращивания провозной и пропускной способностей отдельных участков железных дорог и даже целых направлений крайне актуальны.

Ресурс мер, направленных на повышение веса и длины поездов, использовался долгие годы, и в значительной степени уже исчерпан. При этом достижения в области информационных технологий [1], современных систем интервального регулирования и автоведения поездов, а также значительное покрытие участков железной дороги радиосвязью с возможностью цифровой передачи информации открывает возможности сократить межпоездные интервалы и повысить скорость движения [2, 3] как альтернативу строительству третьих путей при условии усиления систем тягового электроснабжения.

Концепция внедрения на сети железных дорог комплексной технологии интервального регулирования движения поездов [4] предусматривает исчерпывающие направления для снижения межпоездного интервала:

1) повышение скорости движения на желтый сигнал до 80 км/ч при использовании режимов автоведения и приборов безопасности с расчетом допустимой кривой торможения, что регламентировано новой редакцией Правил технической эксплуатации железных дорог РФ;

2) развитие систем автоведения поездов для снижения потерь от преждевременного торможения при входе грузовых поездов на станцию;

3) развитие систем группового автоведения грузовых поездов — технологии «виртуальная сцепка» (BCI) по типу «точка — точка» и «точка — многоточка» с целью сокращения межпоездного интервала, снижения неопределенности времени хода по перегону;

4) расширение применения новых систем автоматической блокировки без

проходных сигналов с подвижным блоком участком (АЛСО с ПБУ);

5) пакетный пропуск через временно однопутные перегоны с уменьшением интервалов между поездами за счет ВСЦ и автоблокировки с подвижным блоком участком;

6) развитие систем интервального регулирования на основе высокоточного глобального позиционирования и цифровой системы радиосвязи (систем радиоблокировки);

7) автоматизация стратегического и оперативного планирования движения поездов, информационная увязка оперативного планирования с системами автоведения поездов.

Массовое применение технологии группового автоведения (виртуальной сцепки) обеспечит поэтапный переход к гибридной технологии управления потоком поездов, существенно повысит пропускную способность железнодорожных участков, а также в перспективе позволит оптимизировать энергопотребление в пакете поездов с учетом возможностей инфраструктуры [5].

Для реализации всех преимуществ группового автоведения виртуальная сцепка должна позволять динамически объединять в группы поезда с системой автоведения разных производителей, менять число и состав поездов, входящих в группу. Ожидаемые преимущества технологии [6]:

- увеличение пропускной способности линии без необходимости строительства новых путей;
- сокращение межпоездного интервала;
- оптимальное использование станционных путей (части виртуально сце-

пленной группы поездов могут использовать разные платформы);

- возможность внедрения новых решений в области управления движением поездов;
- возможность использования групп поездов унифицированной длины вместо повышенной.

Следует подчеркнуть, что применение технологии виртуальной сцепки в настоящее время и обозримой перспективе ни в коем случае не отменяет применения систем автоматической блокировки, а наоборот, дополняет и позволяет повысить эффективность их применения за счет понимания системой автоведения не только инфраструктурных ограничений, но и динамики как впереди идущего поезда, так и группы поездов в будущем.

Для сравнения на рис. 1 представлены расчетные интервалы систем для четырех вариантов интервального регулирования на двухпутном участке:

- 1) трехзначная автоблокировка с трехблочным разграничением (рис. 1а);
- 2) трехзначная автоблокировка с сокращением интервала до двухблочного разграничения за счет применения ВСЦ (рис. 1б);
- 3) система интервального регулирования движения поездов АЛСО с ПБУ на базе АВТЦ-МШ (микропроцессорная автоблокировка с тональными рельсовыми цепями и централизованным размещением аппаратуры в монтажных шкафах на прилегающих станциях) и применением АЛСН (рис. 1в);
- 4) АЛСО с ПБУ на базе АВТЦ-МШ и применением АЛС-ЕН (рис. 1г).

Наименьший интервал между поездами (4–5 мин.) среди тиражируемых систем автоблокировки позволяет обеспечить АВТЦ-МШ с подвижным блоком-участком и каналом АЛС-ЕН [7].

В зависимости от задачи, решаемой при организации движения поездов, на практике для оценки пропускной способности участка применяют расчетные [8], графоаналитические [9] и имитационные модели [10–12]. Например, для определения устойчивости графика движения поездов, а также при установлении набора технических средств, разработанных АО «НИИАС» для грузового и пассажирского движения, активно внедряемых на сети железных дорог, используется набор программных средств имитационного моделирования на разных этапах проектирования.

Для анализа исполнимости интервалов, обеспеченных существующими

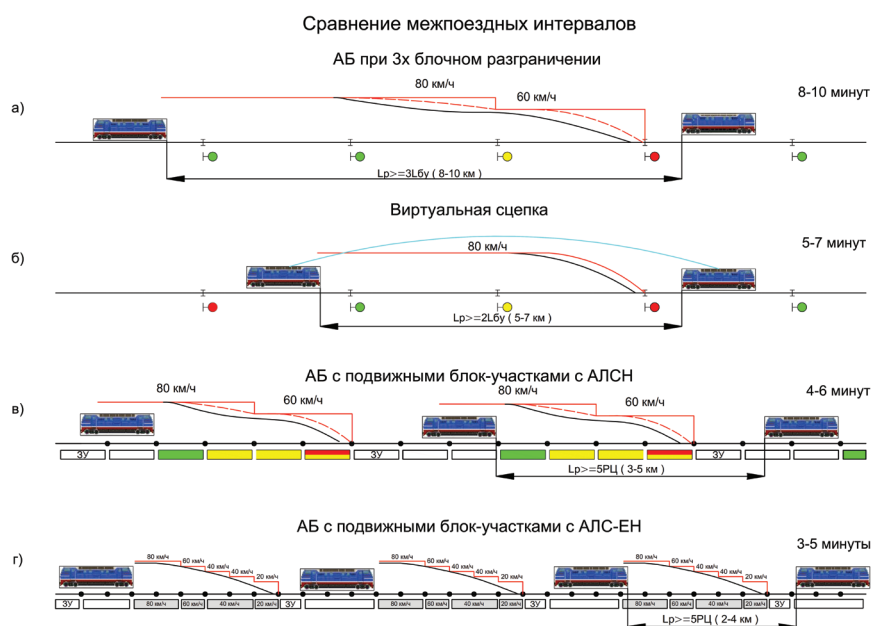


Рис. 1. Сравнение межпоездных интервалов системы интервального регулирования движения поездов (СИРДП): а) трехзначная автоблокировка с трехблочным разграничением; б) виртуальная сцепка; в) автоблокировка с подвижными блок-участками с АЛСН; г) автоблокировка с подвижными блок-участками с АЛС-ЕН

и проектируемыми СИРДП, и анализа их устойчивости применяется комплекс имитационного моделирования работы железнодорожных станций и участков (МСУ) [13, 14], который позволяет разработать подробную модель участка с описанием архитектуры устройств СЦБ и логики работы, а также воссоздать факторы реальной эксплуатационной работы.

Особенностью программного продукта является возможность представлять в интерактивном режиме сигнализацию локомотивного индикатора как для традиционной системы АЛСН, так и для современной АЛС-ЕН, включая таблицы сигнализации, применяемые на Московском центральном кольце (МЦК), участке Журавка (ЮВЖД) — Миллерово (СКЖД) и БАМЕ.

Учитывая востребованность сокращения интервалов в период окон, институт АО «НИИАС» разработал и применил на всей сети РЖД систему макро моделирования работы полигонов ВГДП ИСУЖТ [15] (внедрена в 2023 г. и включена как обязательный элемент Методики определения оптимальных схем предоставления времени для ремонта и содержания инфраструктуры на основных направлениях сети, утвержденной распоряжением ОАО «РЖД» № 3189р от 15 декабря 2023 г. [16]).

АО «Институт экономики и развития транспорта» использует работы АО «НИИАС» в части моделирования интервалов при расчете прогнозных параметров пропускной способности на конкретных

участках железных дорог. Эти работы лежат в основе разработки разделов «Организация движения поездов» в перспективных проектах развития инфраструктуры сети.

Комплексное моделирование, включающее разработку сценариев реализации графика движения поездов и имитацию работы станций и участков, позволяет определить необходимый перечень технических и технологических мероприятий для реализации того или иного сценария работы полигона. В частности, такое комплексное моделирование на разных уровнях детализации сообщает о потребности в применении конкретного типа систем железнодорожной автоматики (ЖАТ), отвечающего требованиям к пропускной способности участков полигона, о наиболее рациональной схеме работ в инфраструктуре на планируемый поездопоток, а также предоставляет данные о необходимом путевом развитии станций и потребности в ресурсах (локомотивах, бригадах в парках станций и пр.).

Перечисленные системы имитационного моделирования (ВГДП ИСУЖТ и МСУ разработки АО «НИИАС»), образующие единую систему комплексного моделирования, являются стратегическими и определяют организацию движения и требуемое ресурсное и инфраструктурное обеспечение полигона на горизонтах от месяца до 5–10 лет. Например, для формирования плана модернизации устройств ЖАТ на Восточном полигоне



Рис. 2. Алгоритм мероприятий по модернизации устройств ЖАТ на Восточном полигоне

реализован алгоритм, представленный на рис. 2.

Вместе с тем, для решения других задач при комплексном анализе потоков поездов на конкретных участках в реальном времени могут использоваться и иные системы моделирования. В частности, динамическая модель загрузки инфраструктуры РЖД (ДМ ЗИ) на основе макромоделирования [17] позволяет определять действующую загрузку элементов сети с учетом планируемых вагонопотоков и плана формирования поездов, а работникам ЦФТО на основе этих данных — принимать решения о возможности согласовать перевозку по поданной заявке формы ГУ-12 в соответствии с заявляемым графиком перевозки. При этом загрузка на каждом из элементов сети оценивается исходя из отношения плановой загрузки элемента к действительной пропускной способности. Такой подход также позволяет в случае перегрузки отдельных элементов согласовывать альтернативные маршруты и время отправки.

Для оперативного планирования пропуска поездопотока существует макромодел в системе ЭЛБРУС-М, которая опирается на метод участковых скоростей для диагностики перевозочного процесса сети железных дорог [18]. Участковая скорость как комплексный показатель организации движения позволяет с высокой степенью достоверности определять ограничивающие элементы пропускной способности на основе исполненного и прогнозного графика движения поездов и, разобрав-

шись в причинах, оперативно принимать решения для их устранения.

Сегодня комплекс МСУ, разработанный АО «НИИАС», — это основная автоматизированная система, которая позволяет повысить точность выявления ограничивающих элементов до блок-участка с учетом особенностей любой системы интервального регулирования движения поездов и сравнить варианты решения проблемы при применении инновационных систем автоблокировки.

В то же время для анализа эффективности использования СИРДП на конкретном железнодорожном участке с учетом всех действующих эксплуатационных факторов потребовалась модель, опирающаяся на данные о реальной скорости поездов разных категорий в каждой точке пути, длине блок-участков на перегоне, маршрутах приема и отправления.

Такая модель с учетом особенностей и практики Свердловской железной дороги разработана в Уральском государственном университете путей сообщения при поддержке ОАО «РЖД» (грант на развитие научных школ), АО «НИИАС» и НПО «САУТ». В качестве исходной информации использованы данные за 8 суток работы двухпутного грузонапряженного участка (около 1 тыс. поездов) путем конвертации данных автоматизированных систем ГИД-Урал, АСУТ-НБД2, АСУ-ДИ.

Модель объединила и синхронизировала данные о весе и длине поезда, всех параметрах движения локомотива, включая ординату, скорость и сигналы

локомотивной сигнализации в каждый момент времени на исследуемом участке, местоположение входных, выходных и проходных сигнальных точек, ограничения скорости, данные официальных тяговых расчетов в системе ИСКРА-ПТР. Такой набор данных позволяет оценить не только расчетный интервал существующей автоблокировки, но и требуемый системой интервального регулирования по условиям обеспечения безопасности интервал за хвостом каждого конкретного поезда на каждом блок-участке с учетом фактической скорости и длины поезда:

$$I_{j,x} = \sum_{i=1}^x t_{j,i\text{БУ}} + t_{j\text{осв}},$$

где $I_{j,x}$ — интервал j -го поезда на конкретном блок-участке автоблокировки;

$t_{j,i\text{БУ}}$ — время проследования j -го поезда i -го блок-участка при x разграничивающих;

$t_{j\text{осв}}$ — время освобождения блок-участка j -м поездом.

На самом деле следующий поезд не сможет появиться на заданном блок-участке ранее рассчитанного по формуле интервала, так как будет остановлен системой автоблокировки. Этот подход позволяет посчитать интервалы не только для существующей трехзначной автоблокировки, но и, наложив правила других СИРДП, оценить, как будет работать участок при тех же условиях движения поездов.

Подробнее рассмотрим формирование межпоездного интервала при движении по участку. На рис. 3а приведены

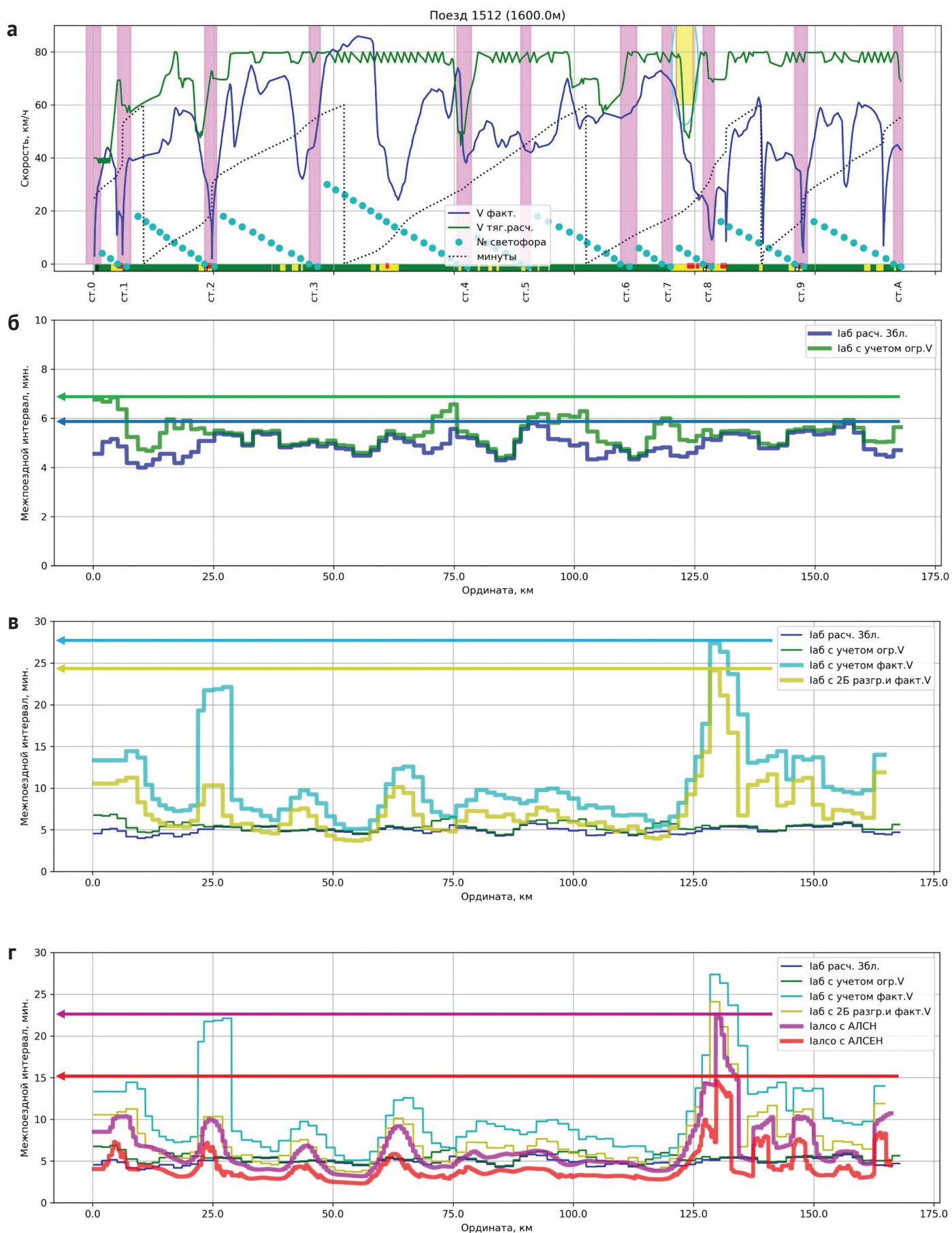


Рис. 3. Результаты расчетов интервала при движении поезда в реальных условиях эксплуатации: V – скорость движения фактическая или по тяговому расчету, станции выделены пурпурным цветом; № светофора – положение светофоров, сигналы АЛС отображены на индикаторе показания 3, Ж, КЖ, Б, ограничение скорости показано желтым цветом в красной рамке; $I_{аб}$ – требуемый интервал за хвостом поезда в зависимости от СИРДП

исходные данные для расчетов на всем участке следования поезда.

На межпоездной интервал реального участка влияет длина блок-участков по проекту, и на *рис. 3б* видно, что расчетный интервал в разных точках пути то уменьшается до 4 мин., то увеличивается до 6 мин. Известно, что пропускную способность будет определять максимальный (ограничивающий) интервал. Таким образом, расчетный интервал при движении с установленной скоростью 80 км/ч на исследуемом участке составит 6 мин.

При расчете межпоездного интервала с учетом условно-постоянных ограничений скорости получаем рост интервала на участке до 7 мин. Однако наличную пропускную способность исследуемого участка определяют возможности станций, и по установленным нормам межпоездной интервал составляет 8 мин.

На *рис. 3в* к расчетным интервалам (графики зеленого и синего цвета) добавлены фактически допустимые интервалы при движении реального поезда по фактической кривой скорости (*рис. 3а*). Видно, что из-за остановок поезда продолжительностью до 10 мин. на перегоне ст. 8 — ст. 9 фактический интервал не может быть меньше 27 мин. при трехблочном разграничении, но за счет двухблочного разграничения интервал за хвостом рассматриваемого поезда может быть снижен до 24 мин.

В случае применения системы АЛСО с ПБУ даже в заданной технологической ситуации интервал еще снижается (*рис. 3г*). При применении АБТЦ-МШ с АЛСН может быть обеспечен интервал менее 23 мин., а с АЛС-ЕН — менее

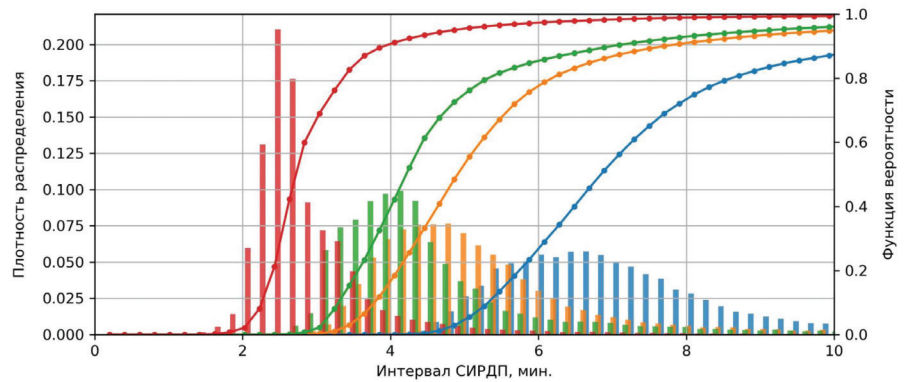


Рис. 4. Распределение минимальных межпоездных интервалов под влиянием всех действующих в эксплуатации факторов

15 мин., из которых 10 мин. составляет остановка на перегоне.

При движении потока поездов за счет технологических запасов времени продемонстрированные на *рис. 3* проблемы увеличения интервала за хвостом конкретного поезда далеко не всегда превращаются в проблему обеспечения пропуска требуемого потока поездов.

На основе расчетов межпоездных интервалов для всех собранных в модели данных о движении поездов можно найти статистику межпоездных интервалов на исследуемом участке. Это, конечно, не позволяет однозначно оценить потерю пропускной способности в силу зависимости интервала за хвостом каждого конкретного поезда от поезда ситуации на впередилежащих участках, но можно сравнивать эффективность СИРДП в заданной поезда ситуации.

Построим плотность распределения минимальных межпоездных интервалов

в зависимости от СИРДП и функцию вероятности, что выбранный случайным образом поезд в случайной точке пути обеспечит при заданной СИРДП интервал менее заданного. На *рис. 4* мы видим, что вероятность превышения межпоездного интервала над установленным нормативными документами в 8 мин. для трехблочного разграничения на заданном участке составит 25 %, для двухблочного разграничения — 10 %, для АЛС-ЕН — менее 0,5 %.

Также можно сделать вывод, что под воздействием всех имеющихся факторов АБТЦ с АЛС-ЕН обеспечат интервал 4 мин. с вероятностью более 90 %. Аналогичную вероятность соблюдения межпоездного интервала при трехблочном разграничении трехзначная автоблокировка обеспечивает только при интервалах 10 мин. и более.

Полученные результаты позволяют предложить метод оценки узких мест в работе участка железной дороги по вероятности нарушения установленно-



Рис. 5. Индикатор вероятности потерь пропускной способности участка железной дороги

Выводы по результатам моделирования пропуска поездов через ограничивающий перегон

Показатели качества интервального регулирования	Традиционная автоблокировка	АБТЦ-МШ (АЛСН)	АБТЦ-МШ (АЛС-ЕН)
Максимальный интервал между поездами при выезде на неправильный путь перегона (I ПП), мин.	5,8	4,8 ↓	4,8 ↓
Максимальный интервал между поездами при въезде на станцию с неправильного пути перегона (I ПП), мин.	11,6	8,9 ↓	5,9 ↓ ↓
Суммарное время занятия главного пути перегона для пропуска пакета поездов одного направления (пакет из 6 поездов), мин.	89,6	76,4 ↓	57,8 ↓ ↓
Остановки на перегоне при следовании поездов по удалению	Допущены	Нет	Нет

го нормативными документами межпоездного интервала. Введем понятие «индикатор нарушения интервала» по следующим условиям: вероятность нарушения нормативного межпоездного интервала менее 1 % — зеленый цвет, 1–10 % — желтый; более 10 % — красный.

Для сравнения приведем значения индикатора для каждого из четырех вариантов СИРДП и график средней скорости поездов на каждой рельсовой цепи исследуемого участка (рис. 5), из которого видно, что средняя скорость движения существенно снижается на участковых и технологических станциях, но она не однозначно отражает увеличение интервала между поездами и, как следствие, возникновение реальных затруднений в продвижении потока поездов. Это связано с возможностью парировать снижение скорости уменьшением длины блок-участков автоблокировки, например на подходах к станции. В тех местах участка, где это было жизненно необходимо в реальных условиях, такая мера уже реализована.

Таким образом, индикатор вероятно-сти нарушения нормативного интервала более четко указывает на места замедления поездопотока, чем средняя скорость на блок-участке автоблокировки.

С другой стороны, на рис. 5 наглядно видно, что трехзначная автоблокировка при коэффициенте загрузки пропускной способности исследуемого участка более 0,81 не справляется с обеспечением нормативного интервала 8 мин. практически по всей длине участка. Вероятность возникновения волны желтого огня и, как следствие, снижения скорости движения на протяженном участке очень высока, что в свою очередь приводит к росту межпоездного интервала сверх установленного нормативом.

Реальная ситуация по реализованным интервалам движения поездов на перегонах Восточного полигона, согласно исследованиям АО «НИИАС», представленная на рис. 6, также подтверждает вывод о невозможности реализации даже 8-минутного расчетного интервала на базе трехзначной автоблокировки.

Сокращение интервала между поездами до двух блок-участков за счет применения виртуальной сцепки значительно улучшает ситуацию, а применение АБТЦ-МШ в режиме АЛСО с ПБУ и АЛС-ЕН позволяет наверняка реализовать движение с установленным 8-минутным интервалом даже при влиянии всех эксплуатационных факторов.

Эффективность системы АБТЦ-МШ определяется ростом ее функциональности с 9 функций для массовой эксплуатируемой системы ЧКАБ с режимом только АЛСН до 33. Появились такие важные функции для обеспечения пропускной способности, как технология подвижного блок-участка, защитные участки разной длины и логическое резервирование отказывающей рельсовой цепи. Не менее важным является и сокращение эксплуатационных затрат при техническом обслуживании АБТЦ-МШ за счет снижения количества операций с 29 при ЧКАБ до 8.

В наиболее сложной технологической ситуации (ремонт инфраструктуры с закрытием одного из путей перегона) именно АБТЦ-МШ позволяет максимально сократить потери пропускной способности за счет снижения интервала между поездами (см. таблицу). Применение для этой же цели ВСЦ также сокращает потери количества пропускаемых пар поездов, но для получения синергетического эффекта наиболее эффективно сочетание этих систем.

Именно поэтому концепция интервального регулирования определяет необходимость внедрения на сети железных дорог автоблокировки с подвижным блок-участком. При этом предусматривается поэтапный переход к гибридной

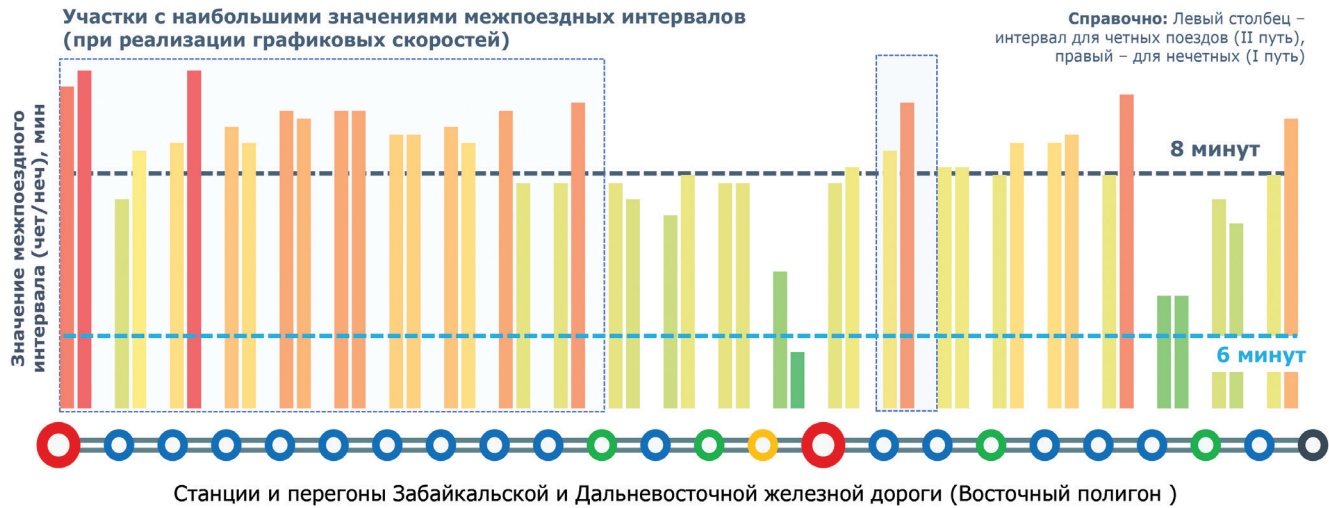


Рис. 6. Реализация минимальных интервалов движения на Восточном полигоне, исходя из скорости движения поездов



Рис. 7. Переход на гибридную систему управления движением на опытном участке МЦК

технологии управления на основе цифровой радиосвязи и систем глобального позиционирования [19]. Первый успешный опыт построения такой системы (рис. 7) реализован на МЦК в Московском транспортном узле на участке Черкизово — Андроновка.

Дальнейшее развитие гибридной технологии управления связано со следующими направлениями:

- 1) выход на участки, оборудованные старыми системами автоблокировки, и на малоделятельные участки для сокращения эксплуатационных затрат;
- 2) развитие станционных систем автоматики для возможности управления большими участками из единого центра с применением беспроводных технологий;
- 3) развитие бортовых систем обеспечения безопасности и автоведения в едином комплексе с централизованным управлением движением поездов;
- 4) внедрение дистанционного мониторинга и управления системами автоматики на основе сетей цифровой радиосвязи и технического зрения;
- 5) разработка технологии управления пакетами поездов с минимальными интервалами между ними и оптимизацией энергопотребления в пакете.

Перечисленные направления работы позволят повысить эффективность применения технологий ИРДП и обеспечить увеличение пропускной способности ограничивающих участков инфраструктуры железных дорог.

Источники

1. Мишарин А.С. Информационные технологии — главное условие совершенствования управления перевозками

// Железнодорожный транспорт. 2001. № 6. С. 12–19.

2. Бушуев С.В. Пути повышения провозной способности участков железных дорог // Автоматика на транспорте. 2022. Т. 8, № 4. С. 343–353. DOI 10.20295/2412-9186-2022-8-04-343-353.
3. Бушуев С. В., Голочалов Н.С. Анализ способов повышения пропускной способности железных дорог // Транспорт Урала. 2023. № 1 (76). С. 42–50. DOI 10.20291/1815-9400-2023-1-42-50.
4. Воронин В. А., Гургенидзе И.Р., Дежков М.А. и др. Комплексная технология интервального регулирования движения поездов. М.: Т8 Издательские технологии, 2023. 216 с.
5. Розенберг Е. Н., Озеров А.В., Панфёров И.А. Комплексный подход к решению задачи повышения пропускной способности // Автоматика, связь, информатика. 2022. № 8. С. 2–6. DOI 10.34649/AT.2022.8.8.001.
6. Розенберг Е. Н., Розенберг И.Н., Озеров А.В. Комплексные решения по повышению пропускной способности железных дорог // Тр. АО «НИИАС». 2021. Т. 1, № 11. С. 32–47.
7. Воронин В.А. Многозначная АЛС на участках АЛСО с ПБУ // Автоматика, связь, информатика. 2022. № 7. С. 2–5.
8. Бородин А. Ф. и др. Изменения в порядке определения пропускной и провозной способностей железных дорог ОАО «РЖД» // Бюл. Ученого Совета АО «ИЭРТ». 2022. № 7. С. 51–66.
9. Корниенко Н. В., Мехедов М.И. Выбор системы интервального регулирования движения поездов в условиях возрастающих потребностей освоения

прогнозируемых объемов перевозок // Вестн. ВНИИЖТ. 2022. Т. 81, № 1. С. 63–70. DOI 10.21780/2223-9731-2022-81-1-63-70.

10. Kozlov P. A., Misharin A.S. A two-level model for the management of railroad goods transportation // J.Comput. Syst. Sci. Int. 2002. № 5 (41). P. 803–811.
11. Козлов П. А., Колокольников В.С. Теоретические аспекты взаимодействия потока и элементов структуры в транспортных системах // Транспорт Урала. 2019. № 4 (63). С. 3–7. DOI 10.20291/1815-9400-2019-4-3-7.
12. Колокольников В. С., Слободянюк И.Г. Технология макромоделирования полигонов // Транспорт Урала. 2019. № 3 (62). С. 48–51. DOI 10.20291/1815-9400-2019-3-48-51.
13. Гургенидзе И. Р., Калинин С.В., Козловский А.П. и др. Моделирование движения поездов для заданных параметров на примере МЦК // Автоматика, связь, информатика. 2021. № 6. С. 14–19. DOI 10.34649/AT.2021.6.6.003.
14. Гургенидзе И. Р., Калинин С.В., Халевин Д.Ю., Козловский А.П. Комплекс имитационного моделирования работы железнодорожных станций и участков // Железнодорожный транспорт. 2021. № 12. С. 38–42.
15. Степанов А. В., Торорошенко С.В., Колемасов А.Д. Формирование плана «окон» с использованием ВГДП ИСУЖТ // Инновационные технологии на железнодорожном транспорте. М.: РУТ, 2021. С. 395–399.
16. Гургенидзе И.Р. Алгоритм выбора последовательности проведения работ на инфраструктуре при выполнении эксплуатационной работы // Железнодорожный транспорт. 2023. № 9. С. 19–23.
17. Осьминин А. Т., Кабанов А.В. Динамическая модель загрузки инфраструктуры ОАО «РЖД» // Железнодорожный транспорт. 2021. № 8. С. 10–19.
18. Виноградов С. А., Мехедов М.И., Мугинштейн Л.А. и др. Метод участковых скоростей для диагностики перевозочного процесса сети железных дорог // Железнодорожный транспорт. 2022. № 4. С. 12–17.
19. Соколов И. А., Мишарин А.С., Куприяновский В.П. и др. Проекты цифрового транспорта с глобальными навигационными спутниковыми системами — путь к построению интегрированных систем цифрового транспорта // Int. J. Open Inform. Technol. 2019. Т. 7, № 1. С. 49–77.