

ЭФФЕКТИВНОСТЬ ПРОПУСКА СПАРЕННЫХ ГРУЗОВЫХ ПОЕЗДОВ

Проводится сравнительный анализ технико-экономических характеристик виртуально и жестко сцепленных грузовых поездов, а также объединенных контейнерных поездов. Приводятся рекомендации по совершенствованию процесса пропуска виртуально-сцепленных поездов. Обосновываются сферы и условия применения технологий спаренного пропуска грузовых поездов.

Ключевые слова: виртуально-сцепленный поезд (ВСЦ), технология виртуальной сцепки, технология жесткой сцепки

EDN: PYOIES

Компактный (сдвоенный) пропуск грузовых поездов служит эффективной мерой по уплотнению потока. До настоящего времени отсутствует однозначная оценка сравнительной эффективности соединенного вождения поездов – жесткого сцепления, объединения контейнерных поездов и пропуска пакета с укороченным межпоездным интервалом по технологии «виртуальная сцепка» [1]. Основным преимуществом способа жесткого сцепления и объединения контейнерных поездов считают экономию нитки графика, что дает значительный выигрыш в периоды, когда требуется увеличить интенсивность потока.



В.А. Эсаулов



Б.И. Давыдов

Технология сопряжена с необходимостью формирования поезда на удлиненных путях в течение 30–40 минутного интервала времени. Участковая скорость соединенного поезда, как правило, ниже нормативного значения. Значительным недостатком объединения контейнерных поездов служит снижение маршрутной скорости высокоходных перевозок. Эффективности рассматриваемой технологии в реальных эксплуатационных условиях, когда возникают отклонения в функционировании участка, удастся добиться при наличии обводных путей или специальных путевых вставок. В противном случае, без правильной регулировки со

Эсаулов Вячеслав Александрович, аспирант кафедры «Организация перевозок и безопасность на транспорте» Дальневосточного государственного университета путей сообщения (ДВГУПС), первый заместитель начальника диспетчерского центра управления перевозками Дальневосточной дирекции управления движением – структурного подразделения Центральной дирекции управления движением – филиала ОАО «РЖД». Область научных интересов: повышение экономической эффективности организации движения грузовых поездов. Автор пяти научных работ.

Давыдов Борис Израильевич, кандидат технических наук, доцент кафедры «Автоматика, телемеханика и связь» Дальневосточного государственного университета путей сообщения (ДВГУПС). Область научных интересов: проблемы управления в транспортной отрасли; моделирование транспортных объектов и процессов. Автор 109 научных работ, в том числе одной монографии. Имеет шесть патентов РФ.

Никитенко Константин Николаевич, главный инженер Дальневосточной дирекции тяги – структурного подразделения Центральной дирекции тяги – филиала ОАО «РЖД». Область научных интересов: повышение энергетической эффективности перевозочного процесса.

Лазарев Александр Геннадьевич, региональный представитель Сибирского отделения Научно-исследовательского и проектно-конструкторского института информатизации, автоматизации и связи на железнодорожном транспорте АО «НИИАС». Область научных интересов: технологии интервального регулирования.

стороны диспетчерского персонала, график движения дестабилизируется и для его восстановления требуется определенный период времени.

Технология соединения двух подвижных единиц в один виртуально-сцепленный поезд (ВСЦ) основана на использовании способа поддержания укороченного межпоездного интервала на основе точной координатной информации [2]. Стандартный режим последовательного отправления поездов исключает потери времени и расходы, необходимые для формирования жесткой сцепки и объединения контейнерных поездов, что является явным преимуществом технологии ВСЦ. Виртуальное сцепление также позволяет избежать проблемы выбора удлиненных путей, что требуется в технологии физического соединения. Существенным преимуществом организации вождения ВСЦ поездов служит минимизация человеческого фактора в вопросах управления движением поездов, и как следствие, движение поездов строго по выделенным ниткам графика.

В настоящей работе представлен сравнительный анализ рассматриваемых технологий с использованием данных, полученных в процессе эксплуатации в пределах Дальневосточной железной дороги. Исследование позволяет обосновать предложения по повышению эффективности организации движения грузовых поездов на грузонапряженном направлении железной дороги, а также сформировать конкретные сферы применения и условия реализации технологий спаривания поездов.

1. Анализ литературных источников

Эффективность технологий сдвоенного пропуска грузовых поездов по участкам магистральных железных дорог исследуется в ряде работ. Показывается, что использование жестко сцепленных поездов позволяет повысить пропускную, провозную способность участков на 10–20%, получить значительный экономический эффект от соблюдения нормативных сроков доставки [3]. Особенно эффективна технология в периоды проведения продолжительных «окон» [4]. В статье [5] автором предложена методика оценки эффективности формирования и пропуска жестко сцепленных поездов на участках и полигонах дорог на основе сравнения экономических эффектов различных сценариев организации поездопотока: формирования, пропуска грузовых поездов графиковой массы или соединенных поездов. В результате определяется экономический эффект от использования технологии физического соединения, делается вывод о преимуществах данной технологии.

В статье [6] оценивается степень повышения эффективности использования пропускной способ-

ности участка посредством снижения межпоездного интервала при вождении ВСЦ поездов. Путем моделирования получен вывод о том, что использование технологии «виртуальная сцепка» на участке Мариинск – Красноярск-Восточный позволяет увеличить пропускную способность на 19% относительно существующего графика. В работе [7] представлены результаты исследований эффективности применения бесцветной системы регулирования движения поездов, в том числе, с использованием технологии ВСЦ.

В статье [8] исследуется режим разграничения между поездами с позиции обеспечения безопасности движения. Предложена методика определения достаточного интервала с использованием инструментов математического моделирования. Сделан вывод о том, что при существующей системе автоблокировки имеются резервы, использование которых позволяет сократить интервал. Исследование показывает, что при технологии ВСЦ в большинстве случаев можно сближать поезда на расстояние, меньшее 1500 м. При определении номинального интервала сближения, кроме длины тормозного пути, учитываются готовность инфраструктуры и перерабатывающие возможности станций участка. Подобный вывод делается и в работе [2], в которой описан комплексный подход к определению эффективности вождения ВСЦ поездов. Авторами поддерживается мнение о том, что виртуальная сцепка – это только часть комплекса мер по повышению эксплуатационных возможностей сети дорог. Эта технология позволяет получить эффект при реализации ряда дополнительных решений, таких как сокращение продолжительности станционных операций и повышение надежности инфраструктуры.

В ряде исследований, например, в [1;9;10], доказывается, что линейный рост коэффициента использования пропускной способности наблюдается лишь при малой плотности потока поездов. В зоне повышенной плотности, при интервалах менее 10 мин, рост показателя пропуска затормаживается и, в дальнейшем, полностью прекращается. Причиной служит влияние случайных факторов, отклоняющих траектории движения поездов от нормативных. Вероятностное моделирование показывает, что результатом случайных влияний оказывается возникновение двух неграфиковых задержек на 300 км пути при среднем интервале пакетного пропуска, равном 12 мин [11]. Этот эффект препятствует достижению высокой эффективности технологии ВСЦ на реальных железных дорогах.

В статьях [12;13] рассматривается вопрос повышения энергетической эффективности процесса тяги при пропуске поездов в режиме ВСЦ. Исследуются характеристики потребления энергии электровозами

типа ЗЭС5К в режиме «виртуальная сцепка»; делается вывод о возможности снижения удельного расхода электроэнергии на тягу поездов на 5%. Однако существуют ограничения, накладываемые системой электроснабжения на пропуск плотного потока. Так, при пакетном движении тяжелых грузовых поездов с интервалом 8 мин влияние потерь в тяговой сети ведет к понижению напряжения в сети на величину около 1 кВ [14].

2. Анализ качества исполненного движения ВСЦ поездов

Проведен анализ характеристик исполненного движения виртуально-сцепленных поездов. Исследованы данные о динамике межпоездного интервала и времени хода по участку. Рассмотрена статистика по движению поездов по участку Хабаровск-Ружино Дальневосточной железной дороги на протяжении календарного года. В выборку включены 37 пар поездов, следующих в четном направлении. Критериями отбора послужили: факт проследования по всему участку без разъединения, малый интервал отправления (до 10 мин включительно), а также отсутствие неграфиковых остановок на промежуточных станциях в ожидании окончания работ или обгона приоритетными поездами.

На указанном контрольном участке графиком движения предусмотрен норматив времени хода, равный 396 мин. Ни один исследуемый поезд не уложился в график. Среднее значение времени хода пакетов ВСЦ составило 502 мин. Завышение фактического времени хода обусловлено влиянием совокупности случайных

дестабилизирующих факторов. Это влияние усиливается при увеличении интенсивности потока поездов и, как следствие, повышении степени влияния межпоездных конфликтов. Полностью исключить эти факторы путем совершенствования интервального регулирования не представляется возможным по причине стохастической природы транспортного потока, а также ограниченной пропускной способности диспетчерских участков.

С целью выяснения влияния случайных задержек на ВСЦ, изучен характер распределения времен хода для ведущих и ведомых поездов. Гистограммы для опозданий показывают идентичность распределений отклонений от графика по прибытию на конечную станцию участка для указанных групп (рис. 1).

В исследованной выборке минимальное отклонение от графикового момента прибытия для ведущего поезда составило 31 мин, ведомого – 34 мин (в сторону увеличения). Средняя величина отклонения по прибытию ведущего составила 106 мин, среднеквадратическое отклонение – 47 мин. Согласно данным официальной статистики, полученным на этапе подконтрольной эксплуатации технологии ВСЦ, в реальном движении показатель участковой скорости по группе ведущих поездов составил 48,4 км/ч, по группе ведомых – 47,9 км/ч. Эти данные корреспондируют с показателями движения поездов, которые пропускались в искусственно созданных свободных условиях (см. раздел.5).

Анализ скоростных траекторий поездов показывает, что механизмом формирования опозданий является накопление малых отклонений, вызванных естествен-

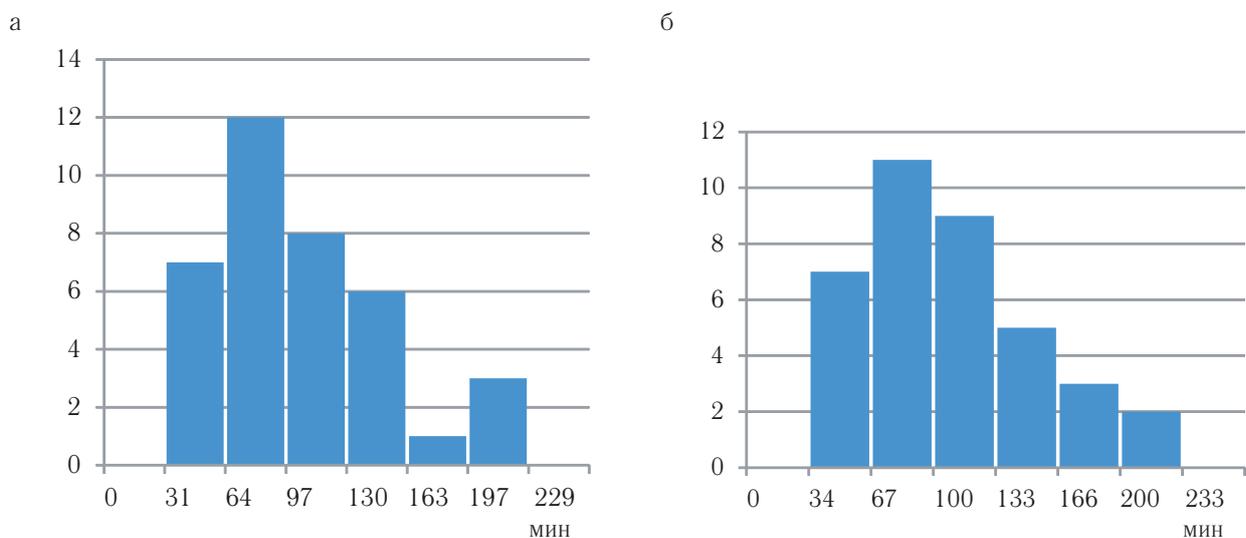


Рис. 1. Гистограммы отклонений от графикового времени прибытия для ведущих (а) и ведомых (б) поездов

ными условиями пропуска поездов. Идентичность вероятностных распределений времени опоздания подтверждает, что движение ведущего и ведомого поездов (в каждой паре ВСЦ) отклоняется от графического единой совокупностью случайных факторов, в частности, движение поездов со скоростями, ниже действующих предупреждений на 10–15%, а также естественное увеличение продолжительности действия ограничения скорости, связанное с замедлением и разгоном. В условиях движения при интенсивном графике использование режима автоведения улучшает ситуацию в малой степени. Отсутствие жесткой синхронизации движения ВСЦ поездов, вызванное дискретностью системы интервального регулирования и особенностями алгоритма управления, приводит к увеличению среднего межпоездного интервала в процессе движения по участку.

Примером служит механизм нарушения связности пары поездов, что вызвано прохождением по элементу пути с ограничением скорости, который иллюстрируется рис. 2. Алгоритм регулирования ВСЦ в процессе подстройки траектории ведомого поезда под динамику ведущего дважды снижает скорость — в интервалах (t'_3, t''_3) и (t''_3, t_y) . В результате межпоездной интервал после прохождения участка ограничения протяженностью 3 км увеличивается до 13 мин.

Статистика, полученная при реальной эксплуатации технологии ВСЦ, подтверждает утверждение о закономерности увеличения межпоездного расстояния вследствие случайных задержек. Данные показывают, что средний интервал по отпавлению

сцепленных поездов составляет 8 мин, по прибытию — 13 мин. Учитывая, что графиковый интервал составляет 12 мин и ВСЦ поезда занимают отдельные пути на технических станциях, где производится смена локомотивных бригад, можно заключить, что явного повышения пропускной способности в серии опытных поездов не наблюдается.

Соответственно, актуальными вопросами совершенствования технологии виртуального сцепления поездов являются:

- следование поездов со скоростями, максимально приближенными к действующим ограничениям;
- возможность нагона поездов после выхода из зоны действия инфраструктурного ограничения;
- синхронизация интервала непосредственно при следовании по лимитирующему участку;
- возможность приема ВСЦ поездов на один путь технической станции.

3. Анализ качества выполненного движения при организации жесткого сцепления грузовых поездов

Исследована выборка данных по 56 жесткосцепленным поездам, проследовавшим за тот же период по участку Хабаровск-Ружино. Критерии отбора сцепок аналогичны критериям отбора ВСЦ поездов. Среднее значение времени хода жестко сцепленных поездов составило 504 мин, средняя участковая скорость движения — 49,0 км/ч. Гистограмма распределения отклонений моментов прибытия на конечную станцию участка приведена на рис. 3. Минимальное

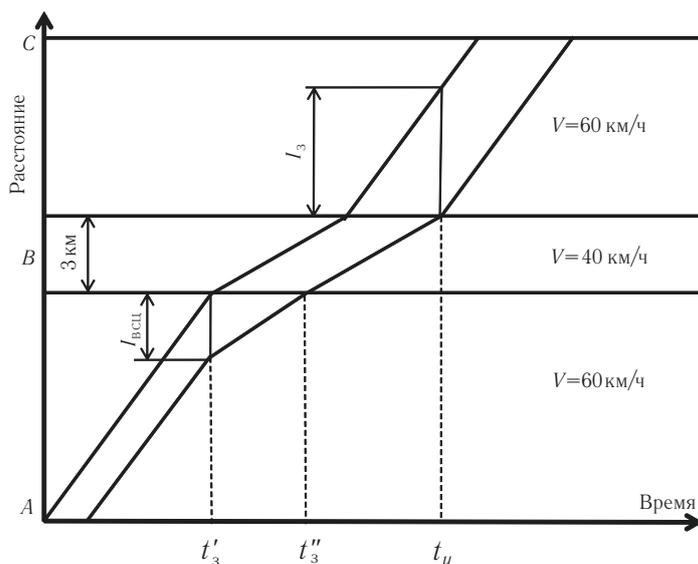


Рис. 2. Динамика межпоездного интервала на участке с ограничением скорости

время отклонения по прибытию на конечную станцию от нормативной нитки для жестко сцепленных поездов составило 28 мин, максимальное — 188 мин. Среднее опоздание равно 108 мин, среднеквадратическое отклонение (СКО) — 40 мин.

Статистика показывает, что основной показатель, характеризующий качество пропуска поездов — среднее время хода по участку, по виртуально и жестко сцепленным поездам отличается незначительно. По совокупности поездов эта величина превышает графиковое время хода на 22%. При этом, СКО по выборке жестко сцепленных поездов существенно ниже аналогичного параметра по виртуально сцепленным пакетам, что свидетельствует о большей стабильности исполненного движения в случае пропуска с физическим соединением.

На основе проведенного анализа можно заключить, что спаренный пропуск поездов в обоих случаях не позволяет компенсировать влияние случайных возмущений и обеспечить регулярное движение грузовых поездов строго по графику. Это является препятствием для повышения интенсивности потока и, следовательно, степени использования пропускной способности.

4. Показатели потребления энергии спаренными поездами

Проведен сравнительный анализ потребления электроэнергии на тягу по группам виртуально и жестко сцепленных поездов. Данные о расходе энергии при проследовании контрольного участка снимались с локомотивных счетчиков. В табл. 1 представлены данные по минимальному, максимальному, среднему потреблению энергии ведущим и ведомым поездами в парах виртуально и жестко сцепленных поездов.

Из рассмотрения данных следует, что отличие в расходе энергии ведущим и ведомым локомотивами в виртуальной сцепке мало. В то же время, потребление локомотивами жестко сцепленных поездов различается в два-три раза, основная нагрузка приходится на ведущий компонент. Это отражает наличие рассогласования кривых тяги при следовании поезда на сложном профиле пути.

Указанный эффект некоторые авторы считают причиной недопустимо большой нагрузки на контактную сеть, которую оказывает жестко сцепленный поезд. Это утверждение не обосновано, так как расстояние между точками токосъема (около 1 км) значительно меньше длины межподстанционной зоны (для системы тяги переменного тока — 30–40 км). Соответственно, режим работы фидеров тяговых подстанций, питающих зону, в случае жесткой сцепки не имеет никаких особенностей. Кроме того, особенностью вождения жестко сцепленных поездов по сложному профилю является снижение нагрузки на ведущий локомотив после прохождения участка перелома профиля вследствие накопленной кинетической энергии.

Данные по суммарному энергопотреблению сдвоенными поездами представлены в табл. 2. Как видно, потребление парами ВСЦ поездов на 0,4% выше (в среднем), чем жестко сцепленных поездов. С целью повышения объективности приведенных расчетов следует отметить, что в пределах исследуемого участка движения ВСЦ поездов не все машинисты использовали рекуперативное торможение и предусмотренный режим автоведения, поэтому дополнительным способом повышения эффективности использования технологии виртуального сцепления является приведение локомотивного парка к номинальным значениям качественных характеристик.

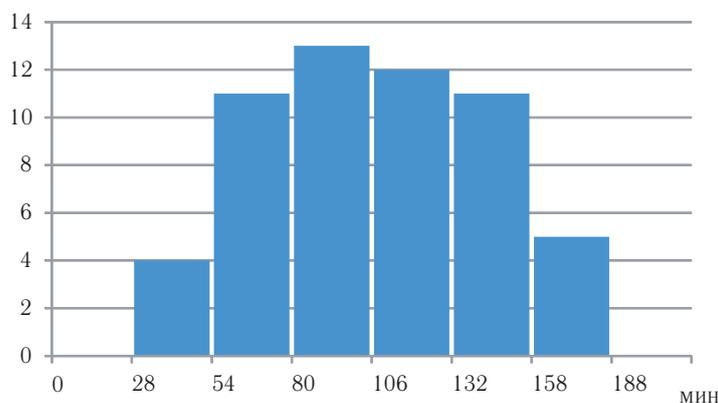


Рис. 3. Гистограмма отклонений от графикового времени прибытия для жестко сцепленных поездов

5. Базовые эксперименты по пропуску двоянных поездов

С целью определения опорных показателей, характеризующих движение виртуально и жестко сцепленных поездов, выполнена серия экспериментальных поездок на Дальневосточной железной дороге (март 2021 г.). В процессе натурных испытаний пропускались пакеты из двух однотипных тяжеловесных (норма – 6300 т) поездов по участку Хабаровск-Ружино. В первой серии движение осуществлялось в стандартном режиме одиночного пропуска (режим ОП), поезда отправлялись по ниткам нормативного графика. Вторая серия поездок реализовывалась с использованием жесткого сцепления (режим ЖСЦ), третья – с использованием ВСЦ. Отправление пакетов производилось по «зеленой улице» – с задержкой более 15 мин после предшествующих поездов.

Идентичные условия движения обеспечивались путем отправления пакетов в фиксированное время суток и использования одних и тех же локомотивных единиц. За экспериментальными поездами были закреплены локомотивы серии ЗЭС5К с номерами 197 и 268, которые в процессе выполнения поездок выполняли функции соответственно ведущего и ведомого тяговых средств. Машинистам предписывалось в процессе движения максимально использовать автоведение – режим УСАВП при стандартном следовании и режим ИСАВП – при движении в составе сцепки.

Данные об энергопотреблении при движении двоянных поездов приведены в табл. 3. В последнем столбце указан эквивалентный расход энергии – с учетом рекуперации. Возврат энергии в систему при пропуске жестко сцепленных поездов отсутствует, так

Таблица 1

Объем энергопотребления поездами в парах ВСЦ и жестко сцепленных поездов (кВт·ч)

Расход	ВСЦ		Жесткая сцепка	
	Ведущий	Ведомый	Ведущий	Ведомый
Минимальный	9095	8705	17065	3402
Максимальный	19856	21529	27158	14689
Средний	16284	16203	23193	9097

Таблица 2

Суммарное потребление электроэнергии пакетом ВСЦ и жестко сцепленных поездов (кВт·ч)

Расход	ВСЦ	Жесткая сцепка
Минимальный	22073	26055
Максимальный	39734	41008
Средний	32430	32304

Таблица 3

Данные по расходу электроэнергии на тягу поездов (кВт·ч)

Режим пропуска	Позиция локомотива	Расход	Возврат (рекуперация)	Эквивалентный расход
ОП	Ведущий	19079	2754	35555
	Ведомый	22523	3293	
ЖСЦ	Ведущий	26288	–	43560
	Ведомый	17272	–	
ВСЦ	Ведущий	19212	1850	35942
	Ведомый	20758	2178	

как при этом режиме не используют рекуперативное торможение.

Как видно из приведенных данных, в указанных поездках по технологии ВСЦ не получен выигрыш по сравнению с поездами, пропущенными в одиночном режиме. Однако наблюдается значительная экономия энергии по сравнению с жесткой сцепкой — порядка 17%. В базовых поездках выполнялось требование пропуска сдвоенных поездов «по зеленой улице». Соответственно, наблюдались улучшенные показатели участковой скорости. Для ВСЦ поездов эта величина составила 51,3 км/ч, для жестко сцепленных — 53,1 км/ч. Это подтверждает ранее высказанное предположение, что случайные флюктуации условий пропуска оказывают на жесткую сцепку более слабое влияние. Отметим, что показатель движения всех спаренных поездов все же ниже показателя участковой скорости, заложенной в нормативный график (61 км/ч).

6. Оценка эффективности объединения контейнерных поездов

Объединение двух контейнерных поездов в один длинносоставный поезд является еще одним эффективным способом повышения пропускной способности грузонапряженных участков. На текущий момент «узким местом» Дальневосточной железной дороги является железнодорожная станция Хабаровск-2. Проведенным анализом установлено, что за последние три года станция принимала не больше 69 четных и 65 нечетных поездов, отправляла не больше 69 четных и 65 нечетных поездов (табл. 4), при этом соединенный или объединенный контейнерный поезд считается за один.

Таким образом, при действующей технологии работы и имеющихся технических средствах решающей станции Хабаровск-2 объединение контейнерных поездов является значимым методом совершенствования полигонной технологии организации эксплуата-

ционной работы. Кроме того, интенсификация наполнения «ниток» графика движения минимизирует риск перенасыщения участков главного хода Восточного полигона сети дорог, обеспечивает устойчивость графика движения и сокращает период восстановления графика после транспортных инцидентов и технологических сбоев.

Экономическая эффективность объединения контейнерных поездов на Дальневосточной железной дороге в январе и феврале 2022 г. характеризуется следующими параметрами:

- сэкономлено 235 ниток графика, 487 рабочих смен локомотивных бригад по четырем депо дороги, 4,04 млн руб. за рабочее время локомотивных бригад, 1500,1 тыс. кВт·ч электроэнергии;
- увеличен показатель среднего веса поезда на 15,2 т среднесуточно;
- увеличена производительность локомотива на 5,5 тыс. т·км брутто среднесуточно.

С другой стороны, существенными недостатками применения данной технологии являются:

- ограниченная сфера применения — технология применима только для контейнерных поездов с условиями формирования по географическому принципу;
- значительно завышается маршрутная скорость контейнерных перевозок вследствие затрат времени на ожидание пары на объединение и непосредственное формирование;
- жесткий подбор поездов по весовой норме и остаточному времени до проведения цикла ТО-2 ведущего локомотива;
- нарушение точности выполнения расписания движения высокодоходных грузовых отправок.

7. Анализ полученных результатов

Проведенные исследования показали, что использование технологии сдваивания грузовых поездов не позволяют преодолеть основной проблемы, возника-

Таблица 4

Анализ среднесуточного приема и отправления грузовых поездов станцией Хабаровск-2

Год	Принято		Отправлено	
	ср. сут. четных поездов	ср. сут. нечетных поездов	ср. сут. четных поездов	ср. сут. нечетных поездов
2019	69	62	68	64
2020	67	65	69	65
2021	64	63	65	65

ющей при пропуске интенсивного потока, — снижения скорости его продвижения. Это вызвано эффектом взаимовлияния поездов, который усиливается по мере сокращения межпоездного интервала. При существующей интенсивности грузового движения на магистральных двухпутных линиях, превышающей 60–70 пар поездов в сутки, снижение участковой скорости составляет 20% и более.

Вместе с тем, использование технологий сдвигания позволяет повысить число пропускаемых поездов в пиковые периоды, в частности, при реализации многочасовых «окон». При этом необходимо обосновывать использование технологии ВСЦ, жесткой сцепки и объединения контейнерных поездов с учетом конкретной ситуации, с оценкой технико-экономического эффекта.

Исследования показывают, что при существующем уровне организации движения и состояния инфраструктуры не следует ожидать роста степени использования пропускной способности, пропорционального повышению плотности потока поездов. Оценочный расчет, основанный на результатах настоящей работы, показывает, что при двукратном уменьшении межпоездного интервала в каждой паре ВСЦ (до 6 мин) использование пропускной способности увеличится, в лучшем случае, на 10%. Кроме того, обнаружено, что расходование энергии жестко соединенными поездами при свободном движении существенно выше аналогичного показателя для ВСЦ поездов. Это объясняется отсутствием рекуперативного возврата электроэнергии при пропуске поезда с физическим соединением. При движении в плотном потоке аналогичный параметр у жестко сцепленных поездов несколько ниже (в среднем), чем при организации пропуска ВСЦ поездов. Причиной этому являются техническое содержание локомотивного парка, а также потери скорости при следовании на желтый сигнал и, как следствие, кинетической энергии перед подъемами. Этот эффект наблюдается при движении ведомого ВСЦ поезда на горном участке. Указанные недостатки могут быть устранены путем совершенствования алгоритма регулирования, заложенного в систему автоведения ведомого поезда.

Для Дальневосточной железной дороги организация движения ВСЦ поездов показывает наибольшую эффективность в нечетном направлении от станции Хабаровск-2. Данное направление характеризуется форсированным пропуском поездов в направлении междорожного стыка Архара. Неоднократно показатели сдачи на данный стык составляли 90 поездов, в том числе посредством сокращения межпоездного интервала благодаря технологии ВСЦ поездов нечетного направления. Увеличение пропускной способно-

сти для данного направления дополняется значительной экономией энергетических ресурсов (по данным топливно-энергетического центра Дальневосточной железной дороги экономия удельного расхода электроэнергии в октябре 2021 г. составила более 10 кВтч/10 тыс. т·кмбр. при организации движения ВСЦ поездов). Использование технологии ВСЦ позволяет повысить степень использования автоведения и системы информирования машинистов, что является неоспоримым преимуществом в вопросах выполнения расписания следования и эксплуатационных показателей. Кроме того, организация движения ВСЦ поездов применима для ускоренного пропуска грузовых поездов перед плановым длительным закрытием одного из путей двухпутного перегона.

Организация соединения грузовых поездов в жесткую сцепку или объединение контейнерных поездов применимо для уплотнения потока при пропуске через «узкое место» дороги — станцию Хабаровск-2, а также при организации движения в периоды длительных закрытий одного из путей двухпутных перегонов. Кроме того, применение технологии объединения контейнерных поездов обосновано в условиях возникновения дефицита локомотивных бригад благодаря существенной экономии трудовых ресурсов. Следует отметить, что интенсивное применение технологии жесткого сцепления обосновано в условиях отставания по выполнению бюджетного показателя среднего веса грузового поезда.

Таким образом, проведенные исследования показывают, что технологии спаривания грузовых поездов имеют свои преимущества и недостатки. Диверсификация сфер применения методов сдвигания поездов в зависимости от эксплуатационной обстановки приведет к повышению пропускной способности, совершенствованию энергетической эффективности организации движения и, как результат, комплексному экономическому росту операционной деятельности компании ОАО «РЖД».

Заключение

1. Технологии двоянного пропуска поездов обладают большим эффектом в периоды, когда требуется повысить степень использования пропускной способности грузонапряженной железнодорожной линии.

2. В моделях повышения пропускной способности, в том числе посредством сокращения межпоездного интервала, необходимо учитывать стохастический характер движения поездов в потоке и наличие случайных факторов, влияющих на динамику изменений интервалов между поездами.

3. Явного преимущества одной из технологий двоянного пропуска — виртуального, жесткого соедине-

ния или объединения контейнерных поездов — в процессе исследований не обнаружено. На практике выбор технологии и интервала движения должен основываться на оперативных задачах, конкретных характеристиках потока поездов, состоянии инфраструктуры и тягового подвижного состава.

4. Синергетический экономический результат возможно получить в случае адаптивного применения технологий сдвигания грузовых поездов в зависимости от оперативной обстановки, условий формирования поездопотока и поставленных эксплуатационных задач.

5. Эффект от использования перспективной технологии организации движения ВСЦ поездов может быть увеличен путем реализации комплекса организационных и технических мероприятий, направленных на совершенствование имеющихся технических средств, инфраструктуры, технологических процессов по обработке поездов на станциях, исключение барьерных мест. В частности, организация движения ВСЦ поездов на удлиненных плечах обслуживания локомотивных бригад, синхронизация межпоездных интервалов между ВСЦ поездами на участках, имеющих ограничения скорости, обеспечение возможности приема ВСЦ поездов на один путь технической станции.

6. Значимым решением, позволяющим обеспечить регулярность и эффективность пропуска пакетов поездов по технологии ВСЦ, следует признать гибкую смену пар сцепленных поездов в пути следования. Это позволит компенсировать регулярно возникающие отклонения от графика движения.

7. В условиях пропуска интенсивного потока поездов существенной экономии топливно-энергетического ресурса можно добиться путем перехода на более высокий уровень надежности подвижного состава, инфраструктуры, а также использования гибких алгоритмов управления движением — с учетом специфики пропуска сдвоенных поездов. 

Работа выполнена при частичной поддержке Министерства транспорта Российской Федерации согласно плану научных работ исследовательских и образовательных организаций 2020 года, проект «Совершенствование оперативного управления движением грузовых поездов».

Авторы выражают благодарность руководству Дальневосточной железной дороги и Дальневосточного государственного университета путей сообщения за предоставленные материалы, помощь в проведении экспериментов и заинтересованное обсуждение их результатов.

Литература

1. Левин, Д.Ю. Теория оперативного управления перевозочным процессом: монография / Д.Ю. Левин. — Москва: ГОУ «Учебно-методический центр по образованию на железнодорожном транспорте», 2008. — 625 с. — Текст: непосредственный.
2. Бушуев, С.В. Повышение пропускной способности участка железной дороги с применением технологии виртуальной сцепки / С.В. Бушуев, К.В. Гундырев, Н.С. Голочалов. — Текст: непосредственный // Автоматика на транспорте. — 2021. — Т.7, №1. — С. 1—20.
3. Сотников, Е.А. Изменения пропускной и провозной способностей высокозагруженных направлений при организации движения соединенных поездов на постоянной основе / Е.А. Сотников, П.С. Холодняк. — Текст: непосредственный // Вестник научно-исследовательского института железнодорожного транспорта. — 2019. — Т.78, №5. — С. 259—265.
4. Сокращение срока доставки грузов за счет организации движения соединенных грузовых поездов в период предоставления «окон» / О.В. Москвичев, В.И. Александров, Е.В. Александров, Е.А. Мищенко. — Текст: непосредственный // Наука и образование транспорту. — 2018. — №1. — С. 95—97.
5. Климова, Е.В. Методика оценки эффективности формирования и пропуска соединенных грузовых поездов на участках и полигонах железных дорог / Е.В. Климова. — Текст: непосредственный // Вестник Сибирского государственного университета путей сообщения. — 2015. — №4 (35). — С. 19—23.
6. Оленцевич, В.А. Эффективное внедрение интервального регулирования движения поездов по системе «виртуальная сцепка» на участке / В.А. Оленцевич, Р.Ю. Упырь, А.А. Антипина. — Текст: непосредственный // Современные технологии. Системный анализ. Моделирование. — 2020. — №2 (66). — С. 182—189.

7. Климова, Е.В. Пропускная и провозная способность перегонов при реализации технологии «виртуальная сцепка» грузовых поездов / Е.В. Климова. – Текст: непосредственный // Вестник Уральского государственного университета путей сообщения. – 2020. – №3(47). – С. 53–64.
8. Бушуев, С.В. Расстояние сближения поездов при организации движения по технологии виртуальной сцепки / С.В. Бушуев, А.Н. Попов. – Текст: электронный // Наука и образование транспорту. – 2020. – №1. – С. 273–275.
9. Davydov B. Online train traffic adjustments: Probabilistic modeling and estimating / B. Davydov, V. Chebotarev, V. Kablukova // Advances in Intelligent System and Computing. – 2018. – P. 50–60.
10. Huisman T. Running times on railway sections with heterogeneous traffic / T. Huisman, R.J. Boucherie // Transportation Research Part B. – 2001. – P. 271–292.
11. Давыдов, Б.И. Экономически эффективное управление движением поездов / Б.И. Давыдов. – Текст: непосредственный // Экономика железных дорог. – 2012. – №3. – С. 28–37.
12. Оценка совместимости системы тягового электроснабжения при внедрении интервального регулирования движения поездов по технологии «виртуальная сцепка» / Н.П. Асташков, В.А. Оленцевич, Ю.И. Белоголов, В.В. Кашковский. – Текст: непосредственный // Современные технологии. Системный анализ. Моделирование. – 2020. – №3 (67). – С. 173–180.
13. Оценка энергетической эффективности электровозов ЗЭС5К при использовании технологии интервального регулирования движения по типу «виртуальная сцепка» / С.В. Власьевский, О.А. Малышева, Н.Г. Шабалин, В.В. Семченко. – Текст: непосредственный. // Вестник научно-исследовательского института железнодорожного транспорта. – 2020. – Т.79, №1. – С. 17–25.
14. Давыдов, Б.И. Потери в тяговой сети переменного тока при пакетном пропуске поездов / Б.И. Давыдов, О.Г. Заволока. – Текст: непосредственный // Вестник Всероссийского научно-исследовательского института железнодорожного транспорта. – 2002. – №3. – С. 39–40.