



Комплексные решения проблем развития инфраструктуры и перевозочных ресурсов



Андрей БОРОДИН

Andrey F. BORODIN

Complex Solutions for the Problems of Infrastructure Development and Transportation Resources

(текст статьи на англ. яз. – English text of the article – p. 13)

Представлены подход к обоснованию комплексных стратегий организации железнодорожных перевозок в условиях ограниченных инвестиций, классификация эксплуатационных резервов, методологические принципы комплексного решения проблем развития и использования инфраструктуры и перевозочных ресурсов на базе вариантных технологических режимов функционирования полигонов железнодорожной сети.

Ключевые слова: железнодорожная инфраструктура, перевозки, ограниченные инвестиции, методология, эксплуатационные резервы, классификация, перевозочные ресурсы, вариантные технологические режимы.

Бородин Андрей Федорович – доктор технических наук, профессор, заведующий отделением перспективного моделирования перевозочного процесса Института экономики и развития транспорта (АО «ИЭРТ»), Москва, Россия.

Неубывающий дефицит мощности основных направлений и узлов отечественных железных дорог сопровождается жестким дефицитом доступных инвестиционных ресурсов. Разработка и актуализация генеральной схемы развития сети железных дорог [1], бизнес-планы крупных комплексных инвестиционных проектов, обоснование инвестиций по объектам, подготовка технических условий на проектирование строительства, реконструкции и примыкания железнодорожных путей необщего пользования – на любой из этих стадий неизбежно приходится искать ответ на вопрос: от чего и в какой последовательности отказываться, чтобы минимизировать потери технологического эффекта?

Не меньшую сложность представляет собой и проблема определения диапазона внешних и внутренних условий, при которых сохраняется необходимость и минимально допустимая эффективность мероприятий по развитию железнодорожной инфраструктуры. Как известно, неполнота информации о размерах и структуре транспортных потоков на перспективу касается всех видов движения, а в грузовом движении – не только груженых, но и порожних



Рис. 1. Схема мониторинга и оценки рисков развития железнодорожной инфраструктуры.

вагонопотоков. Например, достаточно сложно указать, какая доля перевозок будет выполняться в вагонах отдельных операторов подвижного состава, какая система регулирования вагонных парков будет выстроена этими операторами. Поэтому алгоритмы мониторинга и оценка рисков (рис. 1) должны не только опираться на результаты исследования [2], но и обеспечивать, с одной стороны, выбор решений, которые не теряют своей эффективности при возможных изменениях исходных данных, а с другой стороны – содержать логические условия и вычислительные процедуры, снижающие вероятность указанных на схеме (см. рис. 1) ошибок.

СТРАТЕГИИ ОСВОЕНИЯ ПЕРЕВОЗОК

Технологический эффект оценивают прежде всего по целевым показателям комплексных инвестиционных проектов развития железнодорожной инфраструктуры ОАО «РЖД», которые, как правило, определяют достигаемую пропускную и провозную способность участков и направлений, маршрутную скорость пассажирских поездов, участковую скорость и весовые нормы грузовых поездов. Таким образом, регламентируются требования к параметрам каналов в транспортной системе (в терминологии, предложенной проф. П. А. Козловым [3, 4]), но не устанавливаются никаких требований к характеристикам бункеров. В терминологии железнодорожного транспорта характери-

стики канала – пропускные способности станций, участков и внутриузловых ходов, перерабатывающие способности сортировочных комплексов и грузовых терминалов; характеристики бункера – накопительные и регулирующие ёмкости путевого развития. Недооценка свойств и параметров бункера в развитии железнодорожной сети приводит к результатам отнюдь не абстрактно-теоретическим.

В текущем десятилетии имели место жесткие последствия роста грузового вагонного парка при изменившихся принципах его эксплуатации. Явление технологического дефицита вагонного парка в 2011–2013 годы, когда при росте общего наличия грузовых вагонов падала надежность обеспечения заявок грузоотправителей погрузочными ресурсами, росли затруднения с отправлением грузов – результат отсутствия гармонизации ресурсов инфраструктуры, численности вагонного парка и методов управления движением. Одной из причин этого стал, в частности, перенос ряда мероприятий по развитию станций (в том числе предусмотренных уже называвшейся схемой [5]) на более поздние сроки.

В работах [6, 7] доказано, что в диапазоне избыточного заполнения емкости станционного путевого развития происходит исключение части станционных путей из работы по пропуску и переработке потоков поездов и вагонов. При этом результирующая пропускная способность желез-





Рис. 2. Редуцирование мероприятий при ограничениях инвестиций.

нодорожной инфраструктуры существенно снижается относительно паспортных значений, рассчитанных согласно инструкции по расчету наличной пропускной способности железных дорог [8].

Методологически сформулирован [7] подход к обоснованию комплексных стратегий освоения железнодорожных перевозок, включающих инвестиции в развитие инфраструктуры, изменение численности и структуры локомотивного и вагонного парков, улучшение технологии управления движением (снижение доли непроизводительного использования мощности инфраструктуры).

Редуцирование мероприятий инвестиционной программы и их параметров $\{DZ_j\}$ при ограничениях инвестиций (рис. 2), обеспечивающее минимизацию потерь технологического эффекта

$$\{DR_{ij} = f(R_i, DZ_j)\},$$

предусматривает решения следующих классов: уменьшение потребной пропускной способности участков по перегонам и (или) системе тягового электроснабжения $\{\Delta n_{п.уч}\}$; уменьшение потребной пропускной способности станций по паркам, горловинам и соединительным путям $\{\Delta n_{п.ст}\}$; уменьшение потребной перерабатывающей способности станций по сортировочным, грузовым и специальным устройствам $\{\Delta N_{п.пер}\}$; уменьшение накопительной, регулирующей и служебно-технической [9] ёмкости путевого развития станций $\{\Delta E_{п.ст}\}$; уменьшение потребной численности локомотивного парка и мощности устройств локомотивного хозяйства $\{\Delta M_{п.л}\}$.

Решения каждого из этих классов влекут за собой ухудшение определенных групп показателей, увеличение потребности определенных групп ресурсов и необходимость определенных технологических мер компенсации (таблица 1), где $t_{ож.отпр}$ — время ожидания отправления со станции, ч; $K_{ост}$ — количество остановок грузовых поездов на участке; $V_{уч}$ — участковая скорость грузовых поездов, км/ч; $t_{пер}$, $t_{тр}$, t_m — время нахождения на станции вагонов соответственно транзитных с переработкой, транзитных без переработки и местных, ч; n_3 — среднесуточное число поездов, задерживаемых по неприему станций; k — число назначений формируемых поездов.

Рассматриваемые компенсационные меры не всегда приводят к положительным результатам. Например, уменьшение потребного количества и длины сортировочных путей на станции при расчете на перспективные потоки может вызвать потребность укладки не меньшего (если не большего) числа путей в приемных парках других станций и усиления горок, при этом замедлится продвижение вагонопотоков.

КЛАССИФИКАЦИЯ РЕЗЕРВОВ

Превышение мощности над среднесуточным объёмом работы определяется:

- 1) потребной пропускной способностью железнодорожной инфраструктуры;
- 2) заданными размерами грузового и пассажирского движения месяца максимальных перевозок;
- 3) потребной вместимостью путевого развития железнодорожных станций и путей необщего пользования;

Меры компенсации редуцирования мероприятий по развитию железнодорожной инфраструктуры и перевозочных ресурсов

Классы решений	Ухудшаемые показатели	Повышенная потребность	Меры компенсации
$\{\Delta n_{п.уч}\}$	$t_{ож.отпр}; K_{ост}; V_{уч}$	Ёмкости станций для невывезенных поездов и тягово-энергетических ресурсов из-за снижения участковой скорости	Параллельный график (S_1); переключение пассажирских и (или) грузовых поездов на параллельные хода (S_2); увеличение веса и длины поездов (S_3); уменьшение размеров пассажирского и пригородного движения (S_4)
$\{\Delta n_{п.ст}\}$	$t_{пер}; t_{тр}; t_{ст}; n_3; K_{ост}; V_{уч}$	Мощности участков и тяговых ресурсов для ускорения вывоза поездов	$S_1; S_2; S_3; S_4$; перераспределение сортировочной работы (S_5); изменение схемы тягового обслуживания и гарантийных участков (S_6); увеличение уровня маршрутизации перевозок (S_7)
$\{\Delta N_{п.пер}\}$	$t_{пер}; t_{тр}; n_3; K_{ост}; V_{уч}$	Ёмкости станций для вагонов в ожидании переработки и грузовых операций	$S_5; S_7$; обезличивание универсального вагонного парка (S_8)
$\{\Delta E_{п.ст}\}$	$k; n; K_{ост}; V_{уч}$	Перерабатывающей способности станций из-за снижения транзитности вагонопотоков, мощности участков и тяговых ресурсов для ускорения вывоза поездов	$S_1; S_2; S_3; S_4; S_5; S_7; S_8$
$\{\Delta M_{п.и}\}$	$t_{ож.отпр}; K_{ост}; V_{уч}$	Ёмкости станций для невывезенных поездов и мощности участков из-за снижения веса поезда	$S_2; S_4; S_5; S_7; S_8$

4) имеющимися возможностями регулирования вагонопотоков.

При расчетах и обоснованиях следует различать:

1) эксплуатационные резервы (экономически обоснованное превышение мощности над среднесуточным объёмом работы в расчетном году), которые могут быть использованы для освоения дополнительного объёма перевозочной работы;

2) технически необходимую долю мощности инфраструктуры и перевозочных ресурсов, которая используется для обеспечения надежности перевозочного процесса (соблюдения условий взаимодействия элементов инфраструктуры, достижения заданных технологических эффектов, удержания качественных показателей эксплуатационной работы в диапазоне допустимых значений).

Эксплуатационные резервы представляют собой запас мощностей, образующийся при их вводе в эксплуатацию ранее срока достижения расчётных размеров движения, исходя из потребности в снижении общих эксплуатационных и строительных затрат; при этом транспортные потоки и удельные расходы в эксплуатации меньше расчетного значения.

Технически нужно для устойчивого вывоза поездов количество ниток грузовых

поездов в графике движения, на которое следует рассчитывать потребность локомотивов и показатели формы ЦДЛ-13, а также принимать потребную пропускную способность, установлено исследованиями, проведенными с применением имитационного моделирования и теории надежности. Относительное превышение расчетных размеров грузового движения над среднесуточными размерами месяца максимальных грузовых перевозок практически изменяется в диапазоне от 0,14 при 100 парах поездов/сут до 0,205 при пяти парах поездов/сут (рис. 3). При этом незначительное число невывезенных поездов в течение максимального месяца будет иметь место не более двух суток, что является технологически допустимым.

Игнорирование данных рекомендаций будет вызывать хронические нарушения взаимодействия станций и участков железных дорог. При отсутствии резерва ниток графика накопление невывезенных поездов в узлах потребует дополнительного устройства десятков приемоотправочных путей в каждом направлении следования (рис. 4), сделает невозможными своевременную доставку грузов, эффективное использование подвижного состава, энергоресурсов и штата.





Рис. 3. Технически необходимое превышение расчётных размеров грузового движения над среднесуточными размерами месяца максимальных грузовых перевозок.



Дополнительная потребность числа приёмопровочных путей для размещения невывезенных поездов

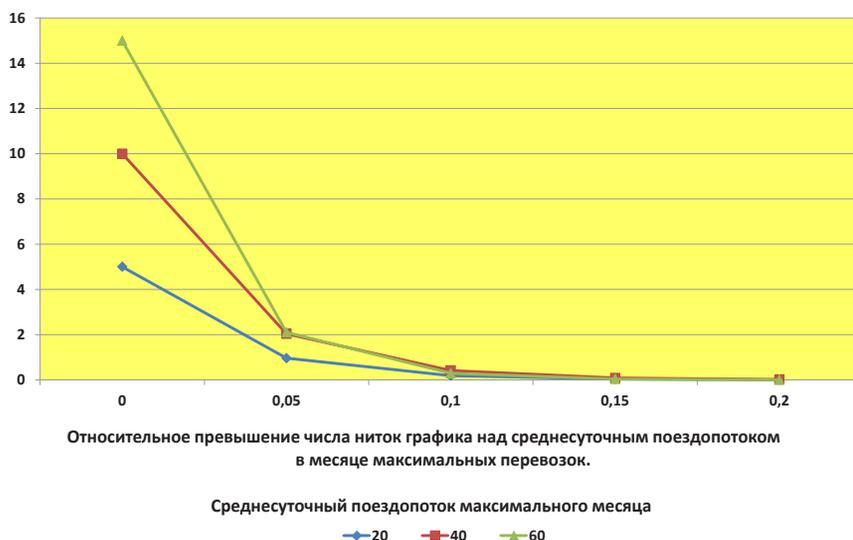


Рис. 4. Увеличение потребности приёмопровочных путей при недостатке тяговых и графиковых ресурсов для вывоза грузовых поездов.

В оперативных условиях эксплуатации трудности развиваются циклично (рис. 5). В настоящее время записаны и запрограммированы уравнения перехода, решение которых позволяет моделировать развитие затруднений и вычислять баланс провозной способности железнодорожных полигонов, исходя из обеспечения их маневренности [7], то есть беспрепятственного продвижения поездопотоков без задержек по неприему станциями, внешними стыковыми пунктами полигона, а также без задержек обмена вагонами с железнодорожными путями необщего пользования.

Указанный баланс провозной способности должен определяться расчетом на моделях конкретных полигонов, позволяющих вычислять функции распределения технологического времени доставки грузов

и порожних вагонов. По функциям распределения следует оценивать надежность выполнения юридических (нормативных и договорных) сроков доставки, которая должна быть в числе целевых показателей инвестиционных проектов и технологических эффектов включаемых в них мероприятий.

ПРИНЦИПЫ КОМПЛЕКСНОГО РЕШЕНИЯ

Комплексное решение проблемы развития и использования железнодорожной инфраструктуры и перевозочных ресурсов должно обеспечивать в условиях текущей эксплуатации:

– достаточную инвариантность наборов реконструктивных мероприятий к конъюнктурным изменениям транспортных



Рис. 5. Цикличность развития эксплуатационных затруднений и баланс провозной способности.

потоков (грузовая база, пассажиропотоки, система управления вагонными парками);
 – возможности для регулирования вагонопотоков за счет их перераспределения между элементами железнодорожной инфраструктуры (использования параллельных железнодорожных ходов, перераспределения сортировочной работы между станциями и др.).

Такое регулирование позволяет:

1) сохранять необходимый уровень надежности транспортного обслуживания в периоды работ по ремонту и модернизации инфраструктуры, сезонных изменений пассажирского движения и условий грузовой работы;

2) скомпенсировать неравномерность транспортных потоков по отдельным корреспонденциям и снизить общую потребность в пространственно-временных ресурсах за счет их взаимозаменяемости.

В ОАО «РЖД» проводится комплексный подход к ремонту и текущему содержанию инфраструктуры, предусматривающий переход от вариантных графиков движения поездов на участках и направлениях к вариантным технологическим режимам работы полигонов железнодорожной сети [7].

Возможности для эффективного применения таких режимов должны закладываться в мероприятия по развитию инфраструктуры в части:

- унификации веса и длины грузовых поездов на параллельных ходах;
- размещения и развития сортировочных станций, пассажирских (в том числе пассажирских технических) станций, транспортно-логистических центров, ва-

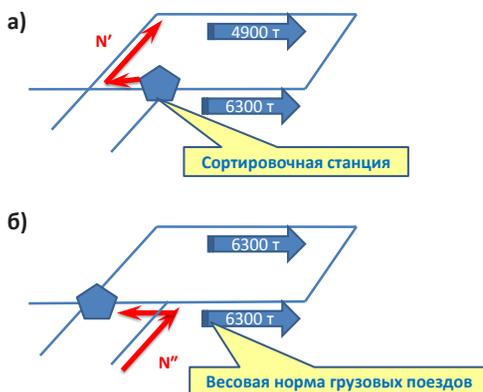


Рис. 6. Варианты размещения сортировочной станции и весовых норм грузовых поездов.

гонно-линейного и локомотивного хозяйств;

– концентрации и (или) дублирования однородных операций в транспортных узлах;

– организации подготовки порожних вагонов и размещения вагонов, не участвующих в перевозочном процессе.

Отнюдь не любая топология железнодорожной сети позволяет организовать эффективное взаимодействие железнодорожных узлов и направлений. Рассмотрим два варианта размещения сортировочной станции и установления весовых норм грузовых поездов на железнодорожном полигоне (рис. 6).

Первый вариант (см. рис. 6а) предусматривает на параллельных направлениях разные весовые нормы 4900 и 6300 т, а также концентрацию сортировочной работы с размещением сортировочной станции в узле, из которого вагонопотоки будут следовать с перепробегам N' . Данное



решение ограничивает возможности регулирования вагонопотоков при изменениях эксплуатационной обстановки: направление вагонов на параллельный ход требует организации перелома веса составов, а ввод в действие эффективных назначений плана формирования на сортировочной станции потребует либо длительных простоев вагонов под накоплением, либо направления вагонов на данную станцию с дополнительными перепробегами на подходах. Таким образом, развитие возможных эксплуатационных затруднений можно будет устранять путем увеличения загрузки инфраструктуры, что может еще более осложнить обстановку.

Второй вариант (см. рис. 6б) предусматривает на параллельных направлениях унифицированную весовую норму 6300 т и размещение сортировочной станции в узле, в который вагонопотоки будут направляться с перепробегами $N'' < N'$. Такой вариант потребует некоторого увеличения инвестиций, но позволит эффективно управлять вагонопотоками в значительном диапазоне изменения условий работы, что, безусловно, сократит прямые производственные расходы.

Для оценки последних каждый i -й вариантный технологический режим $W(t_i)$ характеризуется периодом действия длительностью t_i с датами начала T_{0i} и завершения T_i и с набором параметров

$\{W_1(t_i), W_2(t_i), W_3(t_i), W_4(t_i), W_5(t_i), W_6(t_i), W_7(t_i)\}$,

где $W_j(t_i), j = 1, \dots, 7$ – вектор, характеризующий j -ю подсистему технологии эксплуатационной работы полигона.

Переменные, составляющие вектор $W_1(t_i)$, характеризуют действующую на полигоне технологию организации вагонопотоков; $W_2(t_i)$ – параметры внутриузловой (внутристанционной) технологии; $W_3(t_i)$ – график движения поездов и технологию поездной работы; $W_4(t_i)$ – систему тягового обслуживания; $W_5(t_i)$ – регулирование порожних вагонов; $W_6(t_i)$ – технологию работы путей необщего пользования и других железнодорожных инфраструктур; $W_7(t_i)$ – пассажирское и пригородное движение.

При этом переменные $W_5(t_i), W_6(t_i), W_7(t_i)$ находятся (полностью или частично) вне зоны ответственности ОАО «РЖД» как владельца инфраструктуры и гарантирующего перевозчика. Поэтому в конкретной постановке указанные переменные выступают либо как управляемые переменные в многокритериальной задаче, либо как система ограничений в однокритериальной задаче.

Следует также подчеркнуть, что задачи отыскания эффективного набора параметров вариантного технологического режима $W \cdot (t_i)$ должны учитывать затраты, связанные со сменой технологических режимов (стоимостную оценку набора возможных технологических изменений) как при колебаниях предъявляемых транспортных потоков пассажирского и грузового движения, так и при выделенных календарных периодах проведения ремонтных и строительно-монтажных работ на заданных направлениях.

ЛИТЕРАТУРА

1. Пехтерев Ф. С. Об основных положениях Генеральной схемы развития сети железных дорог ОАО «РЖД» на период до 2020 года // Железнодорожный транспорт. – 2012. – № 5. – С. 4–9.
2. Козлов П. А., Владимирская И. П., Козлова В. П. Экономико-технологические риски в проектах развития транспортной инфраструктуры // Транспорт Российской Федерации. – 2009. – № 2. – С. 24–27.
3. Козлов П. А., Владимирская И. П. Метод оптимизации структуры транспортной системы // Мир транспорта. – 2009. – № 2. – С. 84–87.
4. Козлов П. А. Поток и бункер-канал в транспортной системе // Мир транспорта. – 2014. – № 2. – С. 30–37.
5. Бородин А. Ф. Схема размещения и развития сортировочных станций ОАО «РЖД» до 2015 года // Железнодорожный транспорт. – 2008. – № 1. – С. 48–54.
6. Бородин А. Ф., Сотников Е. А. Рациональное соотношение вместимости путей станций и вагонных парков с учетом увеличения доли частных вагонов // Железнодорожный транспорт. – 2011. – № 3. – С. 8–19.
7. Сайбаталов Р. Ф., Бородин А. Ф. Вагонный парк, инфраструктуру и управление движением – к общему знаменателю // Железнодорожный транспорт. – 2014. – № 11. – С. 26–34.
8. Инструкция по расчету наличной пропускной способности железных дорог / ОАО «РЖД», утв. 10.11.2010 г. № 128. – М.: Техинформ, 2011. – 289 с.
9. Бородин А. Ф. Эффективно использовать станционные мощности // Железнодорожный транспорт. – 2006. – № 6. – С. 37–43. ●

Координаты автора: **Бородин А. Ф.** – Borodin@iedt.ru, Borodin@f@mail.ru.

Статья поступила в редакцию 07.11.2016, принята к публикации 29.12.2016.