

Оптимальная весовая норма поездов



Д. Ю. Левин,
д. т. н., профессор
кафедры «Управление
эксплуатационной работо-
й и безопасностью
на транспорте»
Российского
университета
транспорта

Для реализации максимальных возможностей железнодорожного транспорта при минимальных затратах целесообразно после определения максимальной нормы массы поездов ее оптимизировать с учетом влияния экономических и эксплуатационных факторов.

В настоящее время с помощью правил тяговых расчетов устанавливаются максимальную норму массы поездов, которая определяется мощностью локомотива и продольным профилем пути. Однако для повышения эффективности работы железнодорожного транспорта этого недостаточно. Масса поездов влияет на использование пропускной и провозной способности железных дорог; участковую скорость; вероятность отказов инфраструктуры и подвижного состава; время накопления составов; объем переработки вагонов на технических станциях; использование, потребность и производительность локомотивов; расход топлива (энергосбережение); грузооборот (эксплуатационные тонно-километры); грузонапряженность линий; пробег поездов; производительность вагона и многие другие показатели эксплуатационной и финансовой работы. И влияние это слишком велико, чтобы не учитывать его при установлении нормы массы поездов. При этом повышение массы поездов влияет на одни показатели положительно, на другие — отрицательно.

Поэтому целесообразно определять кроме максимальной нормы массы поездов ее оптимальную норму, причем не только по результатам тяговых расчетов и опытных поездок, но и с учетом других факторов, характеризующих эксплуатационную работу железных дорог. Оптимальная норма массы поездов необходима, чтобы реализовывать максимальные перевозочные возможности железнодорожного транспорта при минимальных эксплуатационных затратах.

Иными словами, после выполнения тяговых расчетов и определения максимальной нормы массы поездов предлагается ее оптимизировать с учетом влияния экономических и эксплуатационных факторов. Тогда максимальная норма массы поездов станет не самоцелью, а средством реализации максимального объема перевозок при эффективном использовании инфраструктуры и подвижного состава.

Взаимодействие массы поездов и эксплуатационных показателей

Для установления влияния массы поездов на пропускную и провозную способность сделаны тяговые расчеты для различных значений массы поездов и проведены испытания с помощью моделирования движения их на участке с неизменным техническим оснащением. Получено, что повышение нормы массы поездов за счет увеличения длины составов и уменьшения скорости движения снижает пропускную способность участка (рис. 1) и увеличивает его провозную способность (рис. 2).

Получена зависимость и между пропускной и провозной способностью (рис. 3). При максимальном использовании пропускной способности участка повышение массы поездов позволяет увеличивать провозную способность, т. е. меньшим числом поездов перевезит больше грузов.

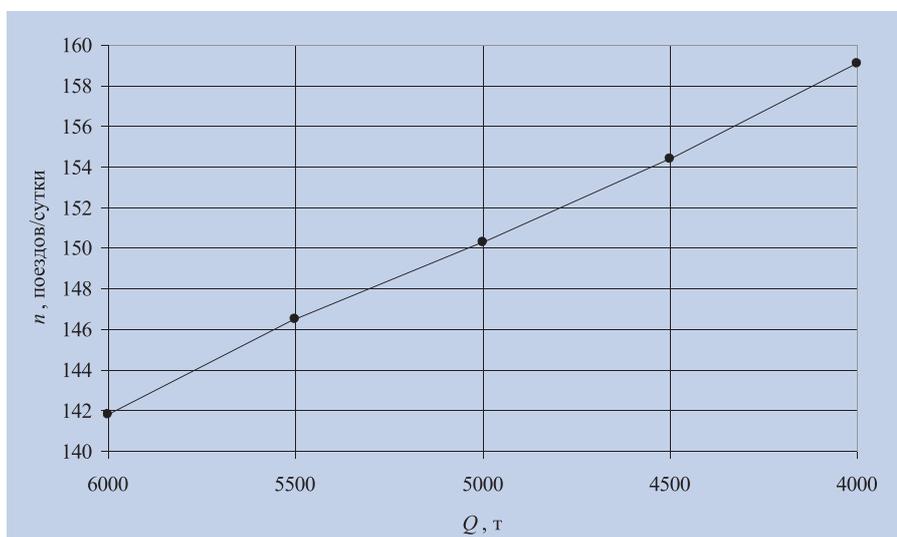


Рис. 1. Зависимость пропускной способности участка (n) от нормы массы поездов (Q)

$$\Gamma = 365v\lambda Q_{\text{ср}}^{\text{бр}}\phi. \quad [1]$$

где v — скорость движения поездов, км/ч;

λ — плотность потока поездов, поезда/км;

$Q_{\text{ср}}^{\text{бр}}$ — средняя масса поезда брутто, т;

ϕ — соотношение массы поезда нетто и брутто (в современных условиях $\phi = 0,76$),

плотность потока поездов, соответствующая максимальной интенсивности, и соотношение массы поезда брутто и нетто принять постоянными, тогда максимальное значение провозной способности достигается наибольшим значением произведения $v \cdot Q_{\text{ср}}^{\text{бр}}(Q_{\text{н}})$.

Зависимость провозной способности участка от изменения этого произведения (рис. 4) показывает, что увеличение средней массы поезда и соответственно нормы массы дает больший эффект от прироста провозной способности, чем потери от уменьшения при этом скорости движения поездов. При дальнейшем увеличении нормы массы потери от уменьшения скорости превышают прирост провозной способности от повышения средней массы поезда. Таким образом, при высоком уровне использования пропускной способности несмотря на уменьшение скорости движения поездов есть возможность повысить их среднюю массу, а вместе с ней и провозную способность, обеспечив освоение возрастающего объема перевозок.

Из всего многообразия показателей эксплуатационной работы наиболее системное влияние на организацию перевозочного процесса оказывают масса и скорость движения поездов. Масса и скорость — не константы, а важнейшие параметры регулирования режима работы сети, которые определяют качество транспортной продукции.

Увеличение скорости движения грузовых и пассажирских поездов — ценная возможность наращивания пропускной способности железнодорожных линий, ускорения доставки грузов, сокращения времени поездки пассажиров, повышения эффективности использования локомотивных бригад и локомотивов. При системном подходе к условиям и организации перевозочного процесса и его показателям необходимо учитывать следующее. Во-первых, в условиях ограниченных технических и технологических возможностей сети железных дорог просто повышение устанавливаемых значений скорости движения не всегда эффективно. Во-вторых, между ско-

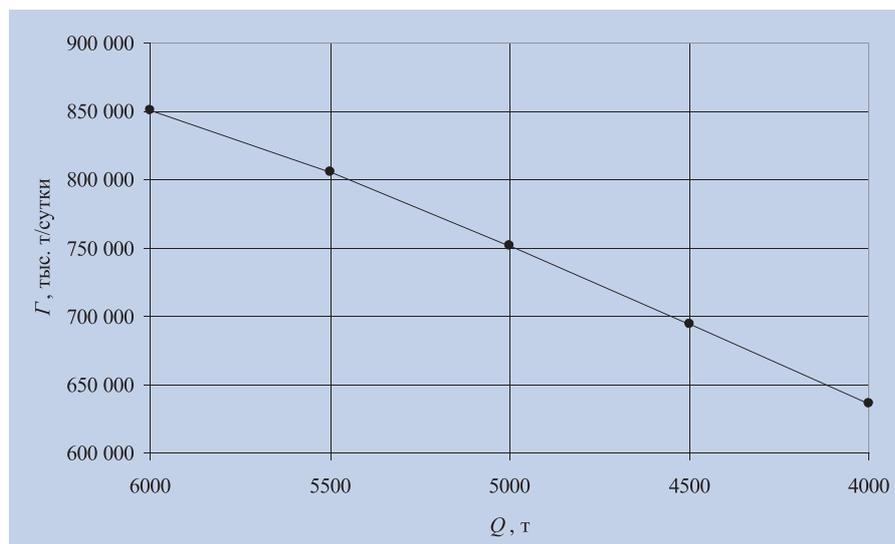


Рис. 2. Зависимость провозной способности участка (Г) от нормы массы поездов (Q)

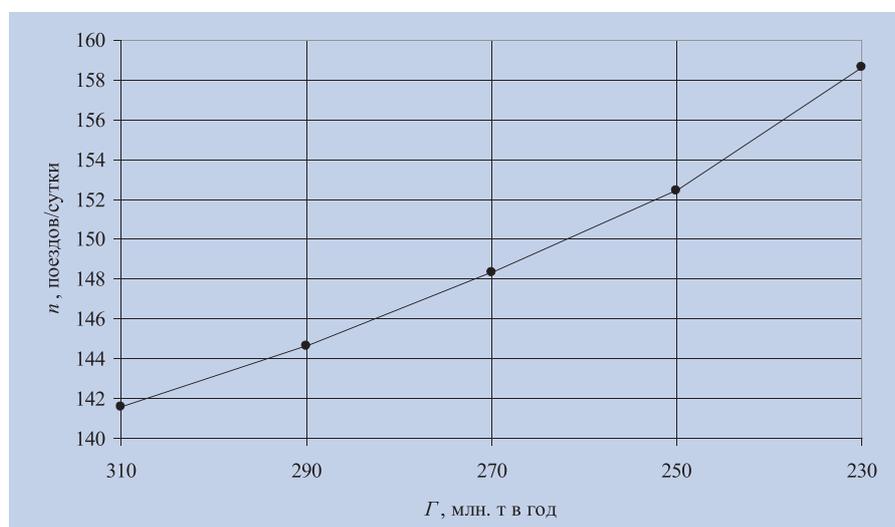


Рис. 3. Зависимость между пропускной и провозной способностью участка при изменении нормы массы поездов

ростью движения и массой поездов обратно пропорциональная зависимость, следовательно, увеличение скорости вызывает снижение массы поездов и увеличение числа поездов на участке. В-третьих, повышение скорости движения поездов связано с увеличением расхода топливно-энергетических ресурсов. В-четвертых, скорость влияет на эффективность использования локомотивных бригад и локомотивов, а также сокращение сроков доставки грузов. В-пятых, повышение скорости вызывает дополнительные расходы на техническое обслуживание объектов инфраструктуры. В-шестых, для части вагонов и грузов нужны ограничения скорости движения. В-седьмых, быстрые темпы развития пассажирского комплекса сдерживают и ограничивают скорость грузовых перевозок, составляющих основной доход ОАО «РЖД». В-восьмых, на скорость движения влия-

ют дефицит пропускной и перерабатывающей способности, временно отставленные грузовые поезда, содержание избытка рабочего парка вагонов и перенасыщение участков поездами.

За последние 90 лет среднегодовые темпы прироста технической и участковой скорости составили соответственно 0,7 % и 1 % [2]. Повышение технической скорости привело к дополнительным затратам топливно-энергетических ресурсов на тягу поездов и дополнительным расходам на техническое обслуживание инфраструктуры.

С позиций локомотивной тяги дальнейшее повышение скорости движения грузовых поездов связано с возможностями современных грузовых электровозов 2 (3) ЭС4К, 2ЭС5, 2ЭС6, 2ЭС7, 2 (3) ЭС10 развивать скорость до 120 км/ч. Электровозы 2 (3, 4) ЭС5К, а также ранее выпущенные ВЛ80 всех индексов (в/и) имеют конструкционную скорость 110 км/ч.

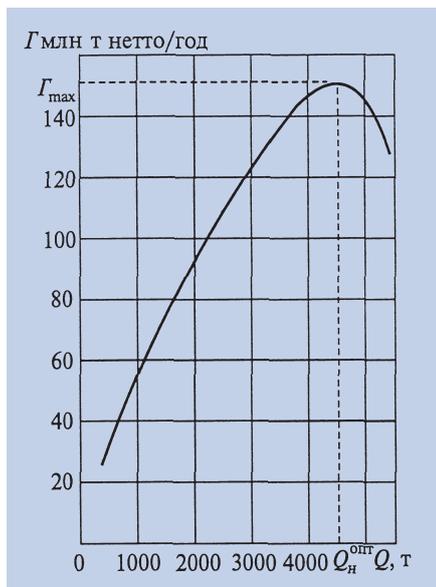


Рис. 4. Зависимость провозной способности участка от нормы массы поездов

Конструкционная скорость грузовых тепловозов 2 (3) ТЭ116 в/и, 2ТЭ25К, 2ТЭ25А — 120 км/ч. Длительное время эксплуатирующиеся тепловозы 2М62, 2М62У, 2 (3) ТЭ10 в/и, как и выпускаемые в настоящее время 2ТЭ25К^М, имеют конструкционную скорость 100 км/ч.

Все участки и целые направления на сети железных дорог отличаются друг от друга прежде всего профилем пути, влияющим на пропускную и провозную способность участка, скорость движения поездов и норму массы, использование мощности тяговых средств. Для того чтобы полученные результаты имели общее значение, исследования проводились для участков, относящихся к различным типам профиля пути по классификации ВНИИЖТ. По этой классификации к I типу профиля пути отнесены участки с расчетным подъемом 4 ‰, ко II типу — 6,5 ‰, к III типу — 9 ‰, к IV типу — 11 ‰.

В соответствии с типами профиля пути по классификации ВНИИЖТ зависимость между скоростью движения и массой поездов для различных типов локомотивов приведена на рис. 5.

Между максимальной массой грузового поезда и скоростью движения существует обратно пропорциональная зависимость (рис. 5), т. е. при увеличении значения одного из этих показателей величина другого уменьшается. Значит, одновременно увеличить значения этих показателей можно только при изыскании резервов. Они появляются в результате усиления технического оснащения после завершения электрификации

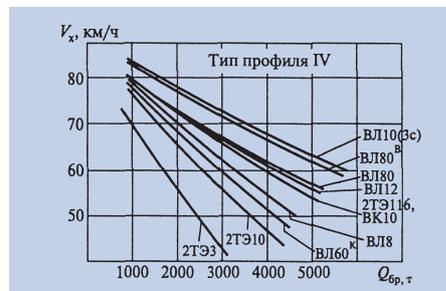
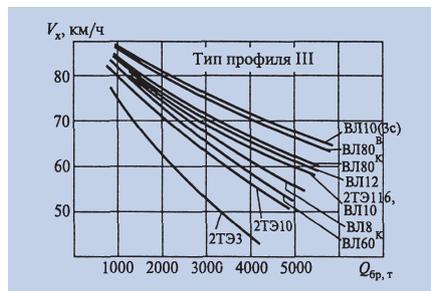
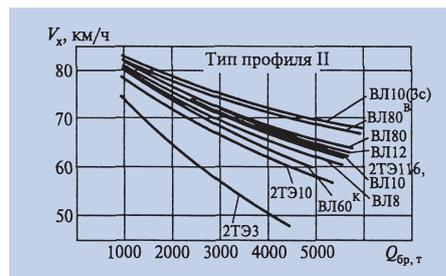
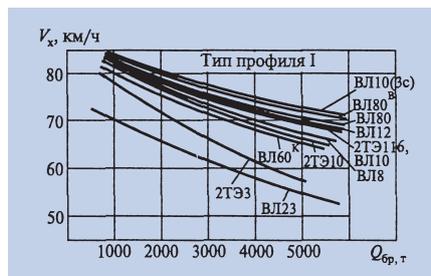


Рис. 5. Зависимость среднеходовой скорости движения поезда от его массы, профиля пути и типа локомотива

участков, строительства второго главного пути, удлинения приемо-отправочных путей, внедрения новых и более мощных локомотивов и вагонов, усиления пути и других мероприятий.

Современное нормирование показателей эксплуатационной работы сталкивается с противоречием при условии нескольких намеченных целей. Например, нужно одновременно увеличить среднюю массу грузового поезда и участковую скорость. Проблема множественности целей сегодня, к сожалению, решается административно-командными методами. Показатели бюджетного задания устанавливаются с превышением ранее достигнутого уровня, тогда как цели должны быть ранжированы по приоритетам. В нашем случае масса поезда должна иметь приоритет при исчерпании или интенсивном использовании пропускной способности участков, как это было в 80-х годах XX века. Тогда, в отсутствие новых разгружающих линий, при интенсивном использовании пропускной способности повышение средней массы поезда позволяло ежегодно увеличивать объем перевозимых грузов. После уменьшения объема перевозок в 90-х годах появились резервы пропускной способности, но возник дефицит некоторых видов вагонов. В такой ситуации приоритет должен быть отдан участковой скорости, которая позволяет ускорить оборот вагона, сократить дефицит подвижного состава и существующим парком вагонов перевезти больше грузов. При этом на некоторых направле-

ниях с мощными вагонопотоками маршрутизируемых тяжеловесных грузов может сохраняться эффективность повышения массы поездов.

Для того чтобы добиться улучшения одного из показателей, достичь одной цели, приходится жертвовать другими. Выбирать «жертву» целесообразно с помощью ранжирования целей. В техническом нормировании и оперативном управлении перевозочного процесса ранжирование целей должно вестись по финансово-экономическим показателям. Вернемся к рассмотренному примеру. Что получили железные дороги от повышения средней массы поезда без изменения технического оснащения? Сокращение потребности в локомотивах и локомотивных бригадах. При нехватке пропускной способности меньшим количеством поездов стали перевозить больше грузов. Но при этом ускорился износ локомотивов и пути; ухудшились условия соблюдения безопасности движения; увеличилось время накопления составов на станциях; возросла минимальная величина вагонопотока, которую целесообразно выделять в самостоятельное назначение при расчете плана формирования; снизилась транзитность вагонопотоков; увеличился объем переработки вагонов на технических станциях; увеличилось число переработок на технических станциях в цикле оборота вагона; возросло время нахождения вагонов на станциях; замедлился оборот вагона. Если все эти факторы оценить экономически, то минимуму эксплуа-

тационных затрат должна соответствовать оптимальная норма массы.

Такой подход позволяет установить влияние значений эксплуатационных показателей на перевозочные возможности и конечные финансовые результаты работы железных дорог.

Сбалансированность значений эксплуатационных показателей на основе оптимальной нормы массы определяет участковую скорость, которая во многом оказывает влияние на пропускную способность участков и перевозочные возможности железных дорог.

При определении влияния нормы массы поездов на организацию вагонопотоков необходимо учитывать, что увеличение числа вагонов в составах:

- увеличивает время накопления составов, время нахождения вагонов на технических станциях и дополнительную потребность путей;
- увеличивает минимальное число вагонов, которое целесообразно выделять в самостоятельное назначение, при расчете плана формирования это вызывает увеличение числа струй вагонопотоков, которые надо объединять с более короткими струями вагонопотоков, что приводит к увеличению числа переработок в пути следования и объема переработок на технических станциях;
- сокращает пропускную способность участков, а это увеличивает время ожидания отправления поездов с технических станций.

Моделирование накопления составов различных норм длины и массы позволило дать оценку изменения средней, минимальной и максимальной продолжительности простоя составов. Построены графики разброса минимальных и максимальных значений времени накопления составов (рис. 6).

Установлено, что зависимость между продолжительностью и затратами вагоно-часов накопления составов имеет не монотонный характер (рис. 7). Например, для накопления одного состава из 70 вагонов потребовалось 5 ч 25 мин при затратах 173,7 вагоно-ч, а другого, такой же длины и назначения, — 3 ч 55 мин и 196,5 вагоно-ч. Следовательно, для сравнения экономии и затрат необходимо использовать другие единицы: не часы, а вагоно-часы. Поэтому построен график разброса минимальных и максимальных значений затрат вагоно-часов накопления составов в зависимости от их длины (рис. 8).

Выбор нормы массы поездов требует рассмотрения ее влияния на изменение величины вагонопотока, которую целесообразно выделять в самостоятельное назначение. По существующим методикам расчета плана формирования [3] непосредственно учесть изменение нормы массы поездов невозможно. Основное аналитическое выражение, используемое в расчетах плана формирования для определения целесообразности выделения вагонопотока в отдельное назначение, включает

$$N \sum T_{\text{эк}}^3 cm,$$

где N — среднесуточный размер струи вагонопотока, число вагонов;
 $T_{\text{эк}}$ — общая приведенная экономия на один вагон потока N при пропуске его без переработки на станции, ч;
 c — параметр накопления, ч;
 m — количество вагонов в составе.

В этой формуле масса поезда учитывается через число вагонов в составе. Увеличивая (уменьшая) число вагонов в составе, можно получить изменение величины вагонопотока, которую вы-

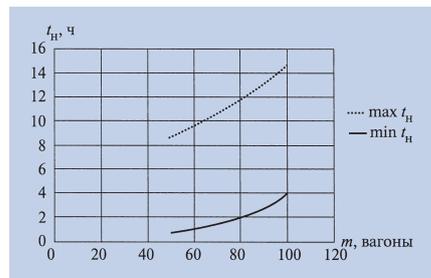


Рис. 6. Зависимость минимальной и максимальной продолжительности накопления составов t_H от длины поездов m

годно выделять в самостоятельное назначение. Например, при $\sum T_{\text{эк}} = 6$ ч, $c = 10$ ч (табл. 1).

Полученная зависимость, когда с уменьшением числа вагонов в составе уменьшается размер вагонопотока, выгодный для выделения в самостоятельное назначение, правильна. Но численные значения вагонопотока требуют уточнения, так как используемые нормативы для расчета плана формирования $\hat{a}T_{\text{эк}}$ и c принимаются постоянными величинами, т. е. не учитываются изменения длины составов. Например, величина параметра накопления определяется только в зависимости от числа назначений и мощности вагонопотока по назначениям, а экономия от пропуска вагонопотока без переработки на станции не зависит от объема переработки и числа вагонопотоков, выделенных в самостоятельные назначения [3].

Поэтому на одной из крупных сортировочных станций Московской дороги на основе реального поступления вагонов по назначениям плана формирования смоделирован процесс накопления при различном числе вагонов в составах. Установлено влияние числа вагонов в формируемых составах на изменение времени их накопления (рис. 9), параметр накопления (рис. 10)

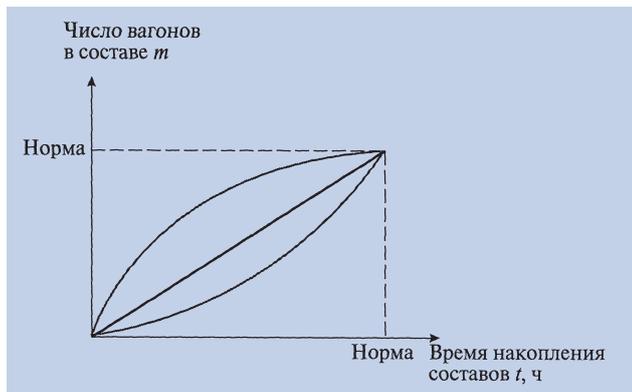


Рис. 7. График накопления составов

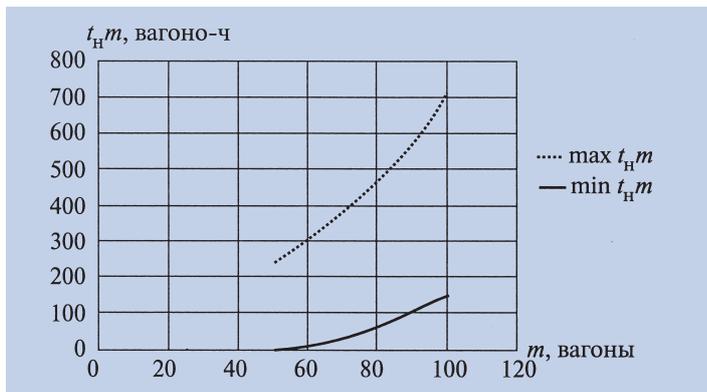


Рис. 8. Зависимость минимальных и максимальных затрат вагоно-часов накопления составов t_H от их длины

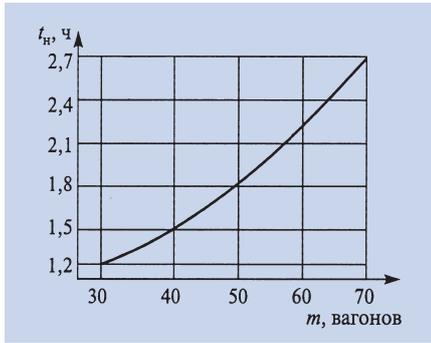


Рис. 9. Изменение времени накопления (t_n) в зависимости от длины состава (m)

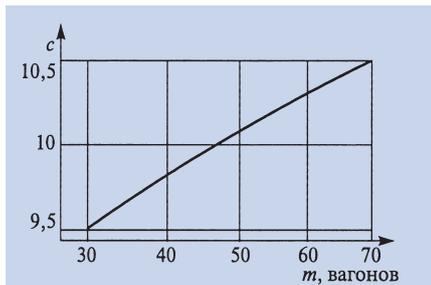


Рис. 10. Изменение параметра накопления (c) в зависимости от длины состава (m)

и размер среднесуточного вагонопотока, который выгодно выделять в самостоятельное назначение (рис. 11). Необходимость учитывать в технико-экономических расчетах по выбору нормы массы поездов организацию вагонопотоков требует делать такой выбор для направлений, полигонов и сети железных дорог.

На основе полученных результатов для трех сортировочных станций Московской железной дороги рассчитано влияние количества вагонов в составах на число назначений (табл. 2).

Из приведенных в таблице данных видно, что уменьшение количества вагонов в составах позволяет увеличить число назначений поездов, как правило, более дальних. При увеличении числа назначений поездов требуются дополнительные сортировочные пути для их накопления. По крайней мере на одной попутной сортировочной станции более дальние назначения уменьшают объем переработки вагонов. Это позволяет снизить эксплуатационные расходы (Э) от сокращения переработки вагонов, ускорить оборот вагона и доставку грузов:

$$\text{Э} = (N_1 \cdot \Delta t_n + N_2 \cdot \sum T_{\text{пер}} + \sum_{i=1}^n N_{\text{пер}i} \cdot \Delta t_{\text{пер}i}) e_{\text{нв}}$$

где N_1 — среднесуточный вагонопоток, охваченный формированием составов оптимальной массы, вагонов;

Δt_n — изменение времени накопления составов

Таблица 1

Число вагонов в составе	40	50	60	70
Минимальный вагонопоток в сутки, выгодный для выделения в самостоятельное назначение, число вагонов	66,7	83,3	100	116,7

Таблица 2. Количество назначений в зависимости от числа вагонов в составе

Станции	Количество вагонов в составе:				
	Более 71	61–70	51–60	41–50	31–40
Первая	15	17	19	21	23
Вторая	19	20	22	23	28
Третья	9	10	11	12	15

при уменьшении их длины, ч;

N_2 — среднесуточный вагонопоток, выделенный в более дальние назначения поездов, вагонов;

$\sum T_{\text{пер}}$ — общая приведенная экономия на один вагон при пропуске его без переработки на попутных станциях, ч;

$\sum_{i=1}^n N_{\text{пер}i}$ — фактический размер переработки вагонов на станции, вагонов;

$\Delta t_{\text{пер}i}$ — изменение времени нахождения вагонов на станции i при уменьшении переработки, ч;

$e_{\text{нв}}$ — расходная ставка вагоно-часа, руб.

Для установления взаимодействия нормы массы поездов и производительности локомотивов используем формулу

$$W_L = Q_{\text{ср}} S_L (1 - \beta_{\text{дв}} - \beta_{\text{од}} - \beta_{\text{кр}}) (1 - \mu_{\text{т}}),$$

где $Q_{\text{ср}}$ — средняя масса состава груженого поезда брутто, т;

S_L — среднесуточный пробег локомотива, км;

$\mu_{\text{т}}$ — коэффициент подталкивания;

$\beta_{\text{дв}}$ — коэффициент двойной тяги;

$\beta_{\text{од}}$ — коэффициент одиночного следования;

$\beta_{\text{кр}}$ — коэффициент кратной тяги.

Во всех расчетах β пробеги толкачей не учитываются. Выражение

$$(1 - \beta_{\text{дв}} - \beta_{\text{од}} - \beta_{\text{кр}}) (1 - \mu_{\text{т}}) = \varphi_L$$

представляет собой коэффициент производительности локомотива, тогда

$$W_L = Q_{\text{ср}} S_L \varphi_L.$$

Это выражение показывает, что производительность локомотива можно повысить за счет увеличения массы поездов $Q_{\text{ср}}$, среднесуточного пробега S_L и коэффициента производительности локомотива φ_L , вследствие снижения коэффициента вспомогательной работы β и μ . Следует отметить, что повышение производительности локомотива за счет увеличения массы поездов эффективнее, чем такое же повышение производительности за счет увеличения среднесуточного пробега локомотива, так как в первом случае увеличение производительности ведет не только к высвобождению определенного числа локомотивов, но и к сокращению числа поездов для освоения заданных размеров перевозок грузов, к снижению удельного расхода топлива или электроэнергии.

Рост абсолютного значения коэффициента производительности локомотивов не всегда свидетельствует об улучшении использования их тяговых свойств (мощности). Так, например, введение более мощных локомотивов и снятие вследствие этого двойной тяги или подталкивания повысит значение коэффициента производительности (уменьшение $\beta_{\text{дв}}$ или μ , и увеличение φ_L), однако это не гаранти-

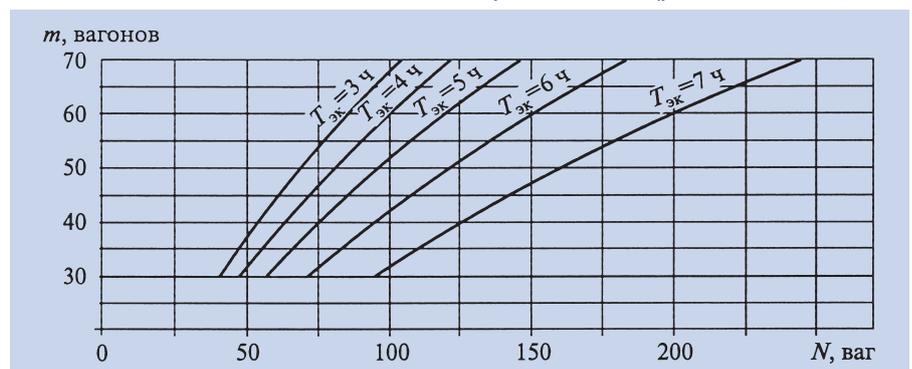


Рис. 11. Зависимость предельного размера вагонопотока (N), который выгодно выделять в самостоятельное назначение, от длины составов (m)

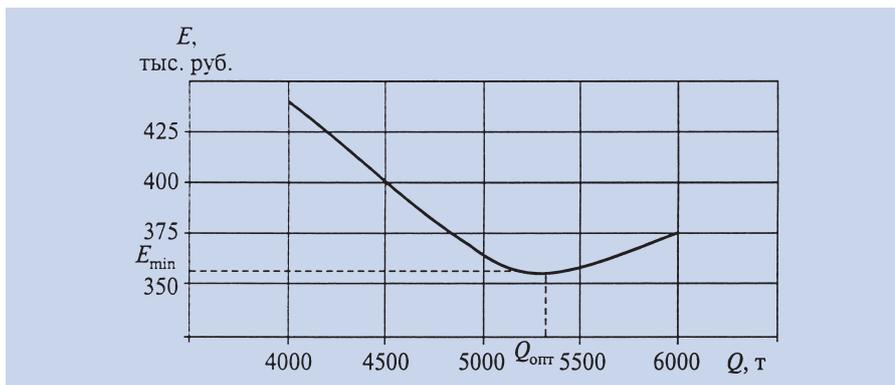


Рис. 12. Зависимость себестоимости перевозок (E) от нормы массы грузовых поездов (Q) на участке

рует недоиспользования мощности нового локомотива. Поэтому при определении оптимальной нормы массы поездов следует учитывать не только величину производительности локомотивов, но и совокупность факторов, характеризующих эксплуатационную работу железных дорог.

При установлении нормы массы поездов нужно учитывать и такой показатель, как безопасность движения. Более 50 вагонов в составе — неблагоприятный фактор при взаимодействии пути и подвижного состава. При массе поезда 3200 т прогрессивно нарастает число растяжек поездов, повреждений тяго-

вых двигателей, прокат локомотивных бандажей и износ рельсов.

Результаты технико-экономических расчетов по определению оптимальной массы поездов на одном из участков Московской железной дороги приведены на рис. 12. Получена оптимальная масса поездов 5321,4 т при максимальном значении массы по мощности локомотива и установленной норме 6000 т.

Следовательно, норму массы поездов необходимо устанавливать не только с учетом максимального использования мощности локомотивов, нельзя забывать об изменениях эксплуатационных и эко-

номических показателей. Норма массы поездов, соответствующая максимальному использованию мощности локомотивов, — частный случай при полной загрузке пропускной способности участков. Оптимальную норму массы грузовых поездов необходимо определять на основе технико-экономических расчетов с учетом всех влияющих факторов.

Использование оптимальной нормы массы поездов с учетом влияния факторов, характеризующих эксплуатационную работу железных дорог, даст экономию более миллиарда рублей в год. **Т**

Литература

1. Левин Д. Ю., Павлов В. Л. Расчет и использование пропускной способности железных дорог. М.: Учеб.-метод. центр по образованию на железнодорожном транспорте, 2011. — 364 с.
2. Зябиров Х. Ш., Шапкин И. Н., Щелочков А. И. Современные технологии, организация и управление эксплуатационной работой на железных дорогах. В 2 ч. М.: ИСПИ РАН, 2005. — 1042 с.
3. Инструктивные указания по организации вагонопотоков на железных дорогах ОАО «РЖД». М.: Техинформ, 2007. — 527 с.

ТРАНСПОРТ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ

ПОРТАЛ ДЛЯ СПЕЦИАЛИСТОВ ТРАНСПОРТНОЙ ОТРАСЛИ

Портал **ROSTRANSPORT.COM** — это информационная площадка для встречи специалистов транспорта.

Пишите, и Ваше мнение узнает вся транспортная Россия.

