

УДК 656.222.4:629.423.1.004.68:621.33.01

Вопросы организации стабильного пропуска транзитных грузовых поездов на направлениях железных дорог с учетом технических и технологических особенностей работы технических станций и перегонов

Л. А. МУГИНШТЕЙН¹, М. И. МЕХЕДОВ²

¹Акционерное общество «Научно-исследовательский институт железнодорожного транспорта» (АО «ВНИИЖТ»), Москва, 129626, Россия

²Забайкальская железная дорога — филиал ОАО «РЖД», Чита, 672000, Россия

Аннотация. В статье предложена динамическая математическая модель, в которой системой взаимозависимостей связано число приемоотправочных путей в парках технических станций, время занятости путей под обработку транзитных грузовых поездов, интервалы попутного следования поездов в поездопотоках четного и нечетного направлений.

Модель позволяет оптимизировать соотношения времени занятости приемоотправочных путей, число таких путей, величины межпоездных интервалов и за счет этого при пропуске поездопотоков уменьшить поездо-часы и увеличить участковую скорость.

На примере станции Карымская Забайкальской железной дороги показано использование модели для определения причин, сдерживающих повышение пропускной способности станции, и предложены мероприятия, позволяющие ее увеличить.

Ключевые слова: пропускная, провозная способность станций, участков, направлений; приемоотправочные пути; интервалы попутного следования

Введение. Вопросы пропускной способности железнодорожных направлений всегда относились к области системных проблем работы транспортной отрасли [1 – 5].

Сколько железнодорожная линия может пропустить грузовых поездов за сутки, за месяц или год? Есть соответствующие методики расчета, которые учитывают межпоездные интервалы, технологические окна, надежность работы технических средств, размеры движения пассажирских и пригородных поездов, количество приемоотправочных путей на технических станциях, нормативное время занятия приемоотправочных путей и другие параметры.

Несложные расчеты [6] показывают, что двухпутный перегон может пропускать 90 и более пар грузовых поездов, а техническая станция с двумя парками по шесть приемоотправочных путей каждый способна пропустить более 100 поездов в каждом направлении.

В случае если принять среднесуточные размеры железнодорожного направления на уровне 70 пар поездов, то резервы пропускной способности перегона составят 29%, а технической станции — 43%. Это достаточно большие резервы, чтобы не испытывать сложности при организации пропуска поездов. Тем не менее реалии эксплуатационной работы железных дорог показывают, что обеспечение таких среднесуточных размеров движения вызывает затруднения и сопряжено с потерей качества эксплуатационной работы. Особо следует отметить, что в период ремонтно-путевых кампаний пропускная способность существенно снижается за счет предоставления окон и расчетные резервы пропускной способности не компенсируют реальные потери пропускной способности от окон на ремонт и содержание инфраструктуры [7].

Пропуск поездов через техническую станцию определяется пропускной способностью горловин парков станции и самих парков.

Математическая модель для оценки размеров поездопотока в нестационарных режимах управления движением поездов. Важнейшая зависимость роста простоев поездов на станциях при увеличении вагонооборота была в общем виде обозначена в 1980-е гг. профессором Е. А. Сотниковым. В работе [8] он отмечает:

«Задержки поездов по неприему вызываются нарушением рационального соотношения между вместимостью путевого развития и размерами вагонного парка на сортировочных и участковых станциях, т. е. когда из-за несвоевременной подготовки поездов, задержки вывоза готовых составов из-за отсутствия или неудовлетворительного регулирования локомотивов и локомотивных бригад, недостаточной выгрузочной способности грузовых станций и по другим причинам вагонный парк, находящийся на технической станции, возрастает и его величина перестает соответствовать длине станционных путей. При этом затрудняется соблюдение принятой

■ E-mail: tdk-vniizht@mail.ru (Л. А. Мугинштейн)
MekhedovMI@mail.zabtrans.ru (М. И. Мехедов)

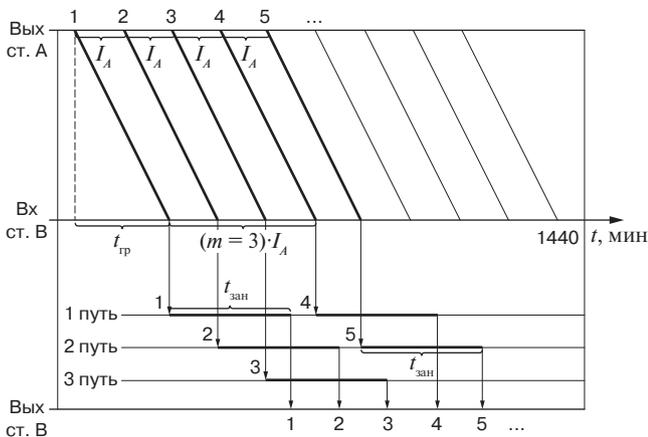


Рис. 1. Идеализированный график организации движения поездов со станции А через станцию В
 Fig. 1. An idealized t timetable of train traffic from station A through station B

технологии маневровой работы, увеличивается время нахождения вагонов на станции».

На рис. 1 приведен идеализированный график организации движения поездов между станциями А и В. По ниткам графика со станции А поезда отправляются с интервалом I_A , на трех приемоотправочных путях (ПОП) станции В выполняются технические операции по обслуживанию грузовых поездов — $t_{\text{тех}}$. С учетом занятости ПОП во время приема и отправления поездов $t_{\text{по}}$ выражение для суммарного времени занятия пути $t_{\text{зан}}$ принимает вид

$$t_{\text{зан}} = t_{\text{тех}} + t_{\text{по}} \quad (1)$$

Для рассматриваемого графика движения поездов соотношения, определяющие пропускную способность парка станции $N_{\text{гр}}$,

$$N_{\text{гр}} = \frac{1440m}{t_{\text{зан}}} \quad (2)$$

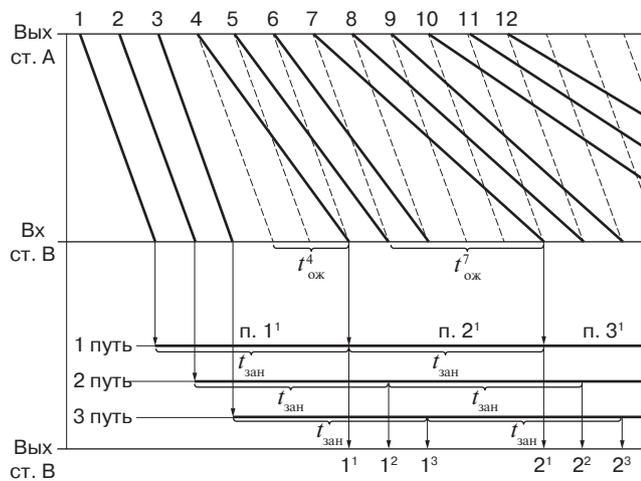


Рис. 2. Условный график исполненного движения
 Fig. 2. Conditional timetable of performed traffic

где 1440 — суточный лимит времени, мин; m — количество приемоотправочных путей; $t_{\text{зан}}$ — время занятия пути поездом [2].

Отметим важное для дальнейшего рассмотрения соотношение. В идеальном случае равномерное движение поездов с определенным сдвигом по станции В обеспечивается при

$$mI_A \geq t_{\text{зан}}$$

В противном случае возникают задержки поездов перед приемом на станцию В [8].

Рассмотрим условную техническую станцию, где в наличии три приемоотправочных пути, время занятия пути $t_{\text{зан}}$ составляет 1 ч, в том числе 10 мин на прием и отправление поезда $t_{\text{по}}$, и интервал отправления I_A поездов с соседней станции А равен 10 мин, время хода по графику $t_{\text{тр}}$ — 30 мин, расстояние между станциями А и В — 30 км.

Принятым показателям соответствует условный график на рис. 2. Наглядно видно, что при этом станцией В не обеспечивается беспрепятственный прием поездов, происходят задержки поездов перед станцией и выделяется время ожидания каждым поездом приема на станцию В.

Пунктиром отмечены нитки нормативного графика с межпоездным интервалом 10 мин. Наклон ниток графика определяется временем хода по графику (30 мин) и принятой технической скоростью (60 км/ч). Поезда по ниткам графика 1, 2 и 3 отправляются со станции А при свободных приемоотправочных путях станции В последовательно с принятым нормативным интервалом I_A .

На рис. 2 первые три поезда, образующие первый пакет, следуют по графику и занимают приемоотправочные пути станции В на время технического обслуживания с учетом времени приема и отправления поездов с этих путей.

Четвертый поезд не может быть принят на станцию В в момент, определяемый ниткой 4 графика, по которой он был отправлен со станции А, так как все пути на станции В в этот момент заняты. Четвертый поезд может быть принят только после освобождения первого пути поездом номер один.

Время ожидания приема четвертым поездом $t_{\text{ож}}^4$ может быть определено как разность между $t_{\text{зан}}$ и $3I_A$:

$$t_{\text{ож}}^4 = t_{\text{зан}} - 3I_A \quad (3)$$

Нитки графика 5-го и 6-го поездов идут параллельно нитке 4-го, и соответственно $t_{\text{ож}}^5$ и $t_{\text{ож}}^6$ равны $t_{\text{ож}}^4$.

Прослеживается закономерность. Мы рассмотрели два пакета поездов. Размер пакетов — число поездов в пакете — определяется числом приемоотправочных путей на станции В ($m = 3$). Третий пакет включает нитки поездов 7, 8 и 9. При этом

$$t_{\text{ож}}^7 = 2t_{\text{зан}} - 2 \cdot 3I_A \quad (4)$$

и соответственно $t_{ож}^8 = t_{ож}^9 = t_{ож}^7$.

По аналогии

$$t_{ож}^{10} = 3t_{зан} - 3 \cdot 3I_A, \quad (5)$$

и соответственно $t_{ож}^{11} = t_{ож}^{12} = t_{ож}^{10}$.

С учетом равенств (3)–(5) для нашей условной схемы в обобщенном виде можем записать соотношение для времени ожидания приема i поездов на станцию В при m приемоотправочных путях и отправления поездов со станции А равномерно с интервалом I_A :

$$t_{ож}^i = \left[\frac{i-1}{m} \right] (t_{зан} - mI_A), \quad (6)$$

где $\left[\frac{i-1}{m} \right]$ — специально введенная функция двух переменных — i и m , принимающая целые значения числа, округляемого в меньшую сторону после выполнения действий в квадратных скобках; i — изменяется в пределах от 1 до $N_{гр}$.

Следует отметить, что при

$$t_{зан} - mI_A > 0$$

поезда задерживаются на приеме перед станцией В. С учетом этого выражение (6) может быть записано в виде

$$t_{ож}^i = \begin{cases} \left[\frac{i-1}{m} \right] (t_{зан} - mI_A) & \text{при } t_{зан} > mI_A; \\ 0 & \text{при } t_{зан} \leq mI_A. \end{cases} \quad (7)$$

Суммарное время ожидания $T_{ож}$ при пропуске $N_{гр}$ поездов может быть определено из соотношений

$$\begin{aligned} T_{ож} &= \sum_{i=1}^{N_{гр}} t_{ож}^i = 1(t_{зан} - mI_A)m + 2(t_{зан} - mI_A)m + \dots \\ &+ \left(\frac{N_{гр}}{m} - 1 \right) (t_{зан} - mI_A)m = \\ &= m(t_{зан} - mI_A) \left[1 + 2 + 3 + \dots + \left(\frac{N_{гр}}{m} - 1 \right) \right]. \end{aligned}$$

После выполнения суммирования членов арифметической прогрессии получаем соотношение для $T_{ож}$:

$$T_{ож} = \frac{N_{гр}}{2} (t_{зан} - mI_A) \left(\frac{N_{гр}}{m} - 1 \right). \quad (8)$$

При $m = 3$, $N_{гр} = 24$, $t_{зан} = 60$ мин и $I_A = 10$ мин с помощью выражения (8) получаем $T_{ож} = 900$ мин.

При $m = 6$, $N_{гр} = 24$, $t_{зан} = 80$ мин и $I_A = 10$ мин получаем $T_{ож} = 720$ мин.

С помощью формулы (8) можно определить среднее время ожидания $t_{ож}^{cp}$ каждым из $N_{гр}$ поездов приема на станцию В

$$t_{ож}^{cp} = \frac{T_{ож}}{N_{гр}},$$

а также:

$$t_{ож}^{cp} = 0,5(t_{зан} - mI_A) \left(\frac{N_{гр}}{m} - 1 \right), \quad (9)$$

где $\frac{N_{гр}}{m}$ — число «пакетов» в поездопотоке размером $N_{гр}$ при числе m приемоотправочных путей на станции В.

При $N_{гр}$, кратном m , с помощью (8) может быть получена точная оценка $T_{ож}$. Если $N_{гр}$ не кратно m , то возможна коррекция — увеличение $T_{ож}$ на время ожидания поездов, число которых может изменяться от 1 до $m - 1$.

При необходимости возможность уточнения расчета связана с добавлением к величине $T_{ож}$ слагаемого, равного произведению $t_{ож}^{cp}$ на целую часть отношения $\frac{N_{гр}}{m}$.

Как следует из рис. 2 и соотношения (8), при увеличении числа отправленных со станции А поездов $N_{гр}$ увеличивается время ожидания поездов. Это отражается на участковой скорости движения поездов на участке между станциями А и В. Для определения $v_{уч}$ необходимо оценить количество поездов $N_{гр}$ на участке А — В за первые сутки рассматриваемого процесса движения поездов.

Для этого воспользуемся очевидным соотношением

$$I_A N_{гр} + T_{ож}(N_{гр}) = T_{сут}, \quad (10)$$

где $T_{ож}(N_{гр})$ — соответствует выражению (8); $T_{сут}$ — суточный лимит времени для пропуска грузовых поездов.

Из этого соотношения после использования формулы (8) получается квадратное уравнение относительно $N_{гр}$

$$\frac{t_{зан} - mI_A}{2m} N_{гр}^2 - \frac{t_{зан} - (m+2)I_A}{2} N_{гр} - T_{сут} = 0. \quad (11)$$

Решение квадратного уравнения имеет следующий вид:

$$N_{гр} = \frac{mK - I_A + \sqrt{(mK - I_A)^2 + 4T_{сут}K}}{2K}, \quad (12)$$

где для упрощения записи выражения (12) введено обозначение

$$K = \frac{t_{зан} - mI_A}{2m}.$$

В качестве примеров использования (12) рассмотрим варианты определения количества грузовых поездов $N_{гр}$ при $t_{зан} = 80$ мин, $I_A = 10$ мин, $T_{сут} = 1440$ мин и при $m = 3, 6, 7, 8$.

При $m = 3$ и принятых параметрах определяем K

$$K = \frac{80 - 3 \cdot 10}{2 \cdot \frac{25}{3}} = \frac{25}{3}$$

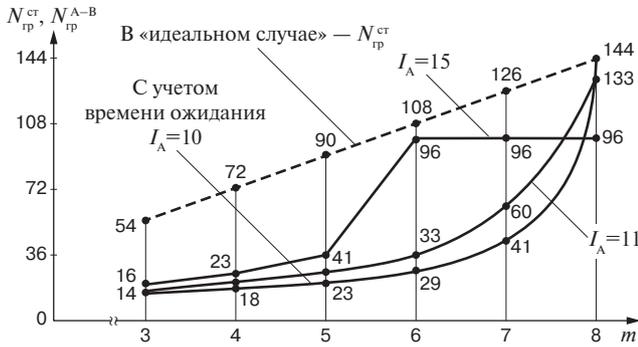


Рис. 3. Зависимости пропускной способности станции от числа приемоотправочных путей в идеальном случае и при I_A , равном 10, 11 и 15 мин, $t_{зан} = 80$ мин, $T_{сут} = 1440$ мин
 Fig. 3. Dependencies of station capacity from the number of receiving-departure tracks theoretically and at $I_A = 10$ min, 11 and 15 min, $t_{зан} = 80$ min, $T_{сут} = 1440$ min

и

$$N_{гр} = \frac{3 \cdot \frac{25}{3} - 10 + \sqrt{225 + 4 \cdot 1440 \cdot \frac{25}{3}}}{2 \cdot \frac{25}{3}} = \frac{(15 + 219,6) \cdot 3}{50} = 14.$$

При $m = 6$ число грузовых поездов — 29.

При $m = 7$ $N_{гр} = 41$ и при $m = 8$ $N_{гр} = 144$.

На рис. 3 сопоставлены четыре зависимости. В «идеальном случае» представлена пропускная способность станции В — $N_{гр}^{ст}$, определяемая в соответствии с (2). Величина $N_{гр}^{ст}$ линейно увеличивается пропорционально числу приемоотправочных путей.

При I_A , равном 10 мин, $t_{зан} > mI_A$ на участке от станции А до станции В образуется очередь поездов со средним временем ожидания $t_{ож}^{ст}$ в соответствии с (9). Число поездов, которое может быть пропущено по учету между станциями А и В по (12), приведено на нижней кривой на рис. 3. При $m = 8$ $t_{зан} = mI_A$ и про-

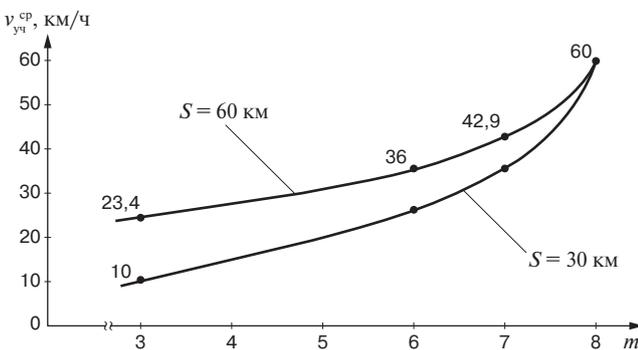


Рис. 4. Зависимости средней участковой скорости $v_{уч}^{сп}$ от числа станционных путей при двух значениях расстояния S между станциями А и В, равных 30 и 60 км, и при $I_A = 10$ мин, $t_{зан} = 80$ мин
 Fig. 4. Dependencies of average section speed $v_{уч}^{сп}$ from the number of station tracks at two values of distance S between stations А and В, equal to 30 and 60 km and at $I_A = 10$ min, $t_{зан} = 80$ min

пускная способность участка А — В достигает максимума $N_{гр}^{ст} = N_{гр}^{А-В} = \frac{1440}{10} = 144$ поезда. При $m < 8$ лимитирующим является участок А — В.

При I_A , равном 11 мин, ситуация повторяется. Лимитирующим является участок А — В, в том числе и при $m = 8$, так как $N_{гр}^{ст} = 144 > N_{гр}^{А-В} = 133$.

Отметим важное обстоятельство. Увеличение интервала попутного следования с 10 до 11 мин способствовало уменьшению времени задержки поездов и соответственно увеличению $N_{гр}^{А-В}$.

При I_A , равном 15 мин, для числа приемоотправочных путей $m < 6$ наблюдается эффект увеличения $N_{гр}^{А-В}$ по сравнению с результатами при меньших интервалах I_A . При $m \geq 6$ выполняется соотношение $t_{зан} < mI_A$ и, таким образом, $N_{гр}^{А-В} = \frac{1440}{15} = 96$. Это меньше, чем $N_{гр}^{ст}$.

Проведенный анализ показывает необходимость и возможность количественной оценки пропускной способности участков между техническими станциями с учетом не только интервалов попутного следования I_A , но и таких важных показателей, как число и время занятости приемоотправочных путей.

Выражение (12) позволяет решать «обратную рассмотренным», но принципиально важную задачу. При фиксированной пропускной способности станции В и условии $t_{зан} > mI_A$ может быть определена величина интервала попутного следования I_A , при котором будет выполняться условие $t_{зан} = mI_A$, обеспечивающее $T_{ож}^{А-В} = 0$ и соответствие пропускных способностей $N_{гр}^{ст}$ и $N_{гр}^{А-В}$.

С помощью выражения (9) можно оценить среднюю участковую скорость движения поездов на участке А — В

$$v_{уч}^{сп} = \frac{S}{t_{гр} + t_{ож}^{ст}}, \quad (13)$$

где S — расстояние между станциями А и В; $t_{гр}$ — время следования поезда по графику.

При заданной технической скорости $v_{тех}$ графическое время может быть выражено как отношение пути между А и В и $v_{тех}$

$$t_{гр} = \frac{S}{v_{тех}}. \quad (14)$$

С учетом (14) выражение (13) может быть представлено в виде

$$v_{уч}^{сп} = \frac{S}{\frac{S}{v_{тех}} + t_{ож}^{ст}}. \quad (15)$$

На рис. 4 представлены зависимости средней участковой скорости $v_{уч}^{сп}$ от числа станционных путей при двух значениях расстояния S между станциями А и В, равных 30 и 60 км, и при $I_A = 10$ мин, $t_{зан} = 80$ мин.

Время занятия приемоотправочного пути определяется установленной технологией работы технической станции. Можно выделить четыре варианта сочетаний технологических операций работы станции.

На смену локомотивной бригады нормативное время в зависимости от местных условий устанавливается в пределах 30–35 мин.

При смене локомотивной бригады и техническом (коммерческом) осмотре состава $t_{\text{тех}}$ равно 45–55 мин.

При смене поездного локомотива $t_{\text{тех}}$ принимается равным от 45 до 60 мин.

На смену поездного локомотива и технический (коммерческий) осмотр состава $t_{\text{тех}}$ составляет от 65 до 75 мин.

В первом случае норматив времени занятия приемоотправочных путей будет минимальным, в последнем — максимальным. С учетом таких нормативов, устанавливаемых на основе технологических процессов станций, в соответствии с соотношением (3) и при $I_A = 10$ мин время ожидания приема поезда будет равно нулю и, соответственно, при $m \geq 5$ обеспечено беспрепятственное продвижение поездов по станциям со сменой локомотивных бригад и для станций со сменой локомотивов при $m \geq 9$.

Эти оценки показывают, что принятое путевое развитие для технических станций в пределах 5–9 приемоотправочных путей должно обеспечивать заданные параметры пропуска грузовых поездов без влияния на стабильность их пропуска.

В отдельных случаях в реальных условиях организации перевозочного процесса эти представления не подтверждаются [3, 9, 10, 11].

Статистическая оценка пропускной способности станции Карымская в условиях реальной эксплуатации. Статистический анализ показал, что простой грузовых транзитных поездов на технических станциях Забайкальской железной дороги существенно вырос. С учетом этого соотношение (1) для занятости пути поездом может быть дополнено слагаемым $t_{\text{доп}}$:

$$t_{\text{зан}} = t_{\text{по}} + t_{\text{тех}} + t_{\text{доп}}, \quad (16)$$

где $t_{\text{доп}}$ — время, которое обусловлено различными технологическими и нетехнологическими потерями [8, 11], связанными с регулировкой отправления поездов поездными диспетчерами: потери времени на окна, на пропуск пассажирских поездов, на ожидание смены локомотивов и локомотивных бригад, на ожидание окончания обработки составов, устранение неисправностей локомотивов, отцепку технических и коммерческих браков и т. п.

Для определения пропускных способностей парков технических станций можно использовать полученную в соответствии с нормативным соотношением (2) номограмму на рис. 5, на которой в зависимости от количества приемоотправочных путей в парке

станции и среднего времени занятия пути можно рассчитывать пропускную способность станции.

К примеру, если среднее время занятия поездом приемоотправочного пути — два часа и парк станций составляют пять путей, то станция за сутки может пропустить 60 поездов. При увеличении числа путей до семи пропускная способность увеличится до 85 поездов.

На примере станции Карымская рассмотрим изменение параметров работы станции после проведения реконструкционных работ. Станция Карымская является односторонней сортировочной станцией первого класса с комбинированным расположением парков. Путевое развитие станции, представленное на рис. 6, включает в себя четные приемоотправочные парки Б и Д, нечетный приемоотправочный парк А, приемоотправочный парк В для обоих направлений и сортировочно-отправочный парк С. Парки А, Б, С и В расположены параллельно друг другу, парк Д — последовательно, примыкает с западной стороны к остальным паркам. В технологическом процессе станции предполагается возможность изменения специализации путей парков в зависимости от развития поездной ситуации. В период с 2009 по 2011 г. проведена реконструкция станции с вводом в эксплуатацию приемоотправочного парка Д. В конце 2009 г. построено пять путей в этом парке, которые специализировали преимущественно для нечетного направления, в парке А у двух путей изменили специализацию с приема нечетных поездов на прием четных. В конце 2011 г. введены в работу еще пять путей парка Д, после этого парк Д из 10 приемоотправочных путей специализировали для четных поездов и три пути парка Б — для нечетных. То есть до 2010 г. для пропуска четных поездов на станции Карымская было предназначено шесть приемоотправочных путей, с 2010 по 2011 г. использовалось восемь путей и соответственно с конца 2011 г. — 13 путей.

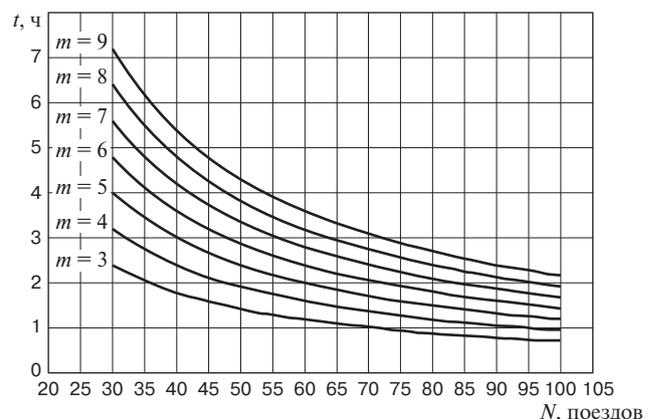


Рис. 5. Номограмма определения пропускной способности парка технической станции

Fig. 5. Nomograph determining capacity of service station yard

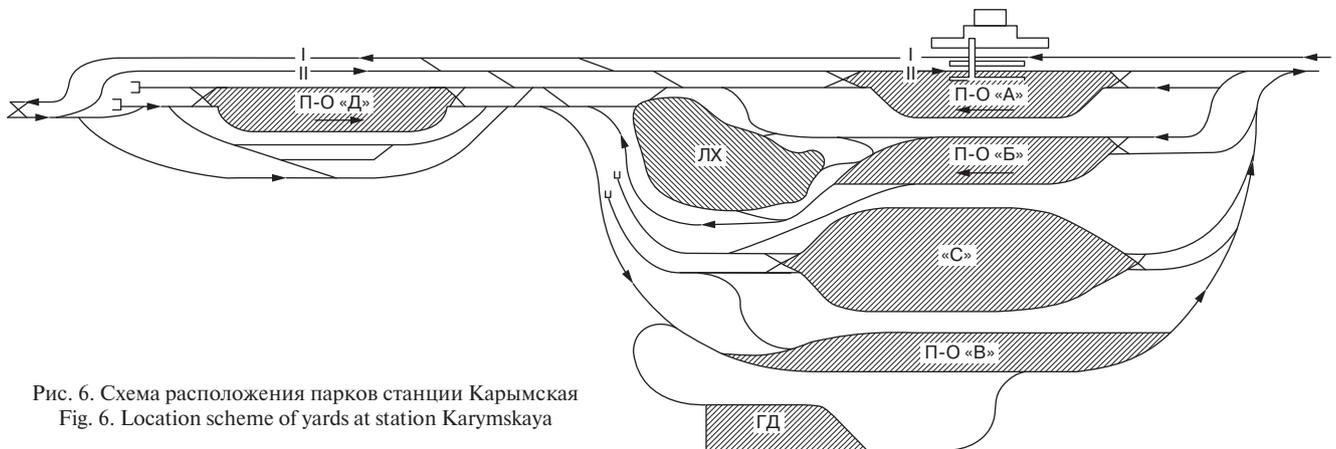


Рис. 6. Схема расположения парков станции Карымская
Fig. 6. Location scheme of yards at station Karymskaya

Эти мероприятия были направлены на усиление возможностей пропуска четного потока грузовых поездов.

Для оценки изменения пропускной способности станции Карымская в период поэтапного усиления ее мощности на рис. 7 наложим поле корреляции простоев поездов и размеров движения в четном направлении с 2008 по 2012 г. на номограмму расчета пропускной способности станции Карымская.

По точкам, показывающим параметры работы узла за каждый месяц периода, наглядно видно, что с увеличением емкости станции увеличивается и среднее время занятия пути. Белые точки периода 2008–2009 гг. приближены к кривой $m = 6$, часть серых точек (2010–2011 гг.) накладывается на кривую $m = 8$, при этом черные точки (2012 г.) соответствуют

простоям 4 ч и более, приближаясь к кривой $m = 13$. Эти данные показывают, что очевидные мероприятия по увеличению пропускной способности станции Карымская (увеличение числа приемоотправочных путей) не привели к успеху, так как одновременно параллельно увеличивалось время занятия станционных путей. Подробно причины значительного роста простоя по станции Карымская определены в [2, 8]. Связаны они с дефицитом локомотивов для вывоза четного потока со станции Карымская, который имел систематический характер в рассматриваемый период времени.

Чтобы оценить пропускную способность станции Карымская, отобразим на рис. 8 зависимость усредненного времени занятия пути от количества поездов, полученную при аппроксимации данных показателей выборки на рис. 7.

Абсциссы точек пересечения кривых (см. рис. 7) $m = 6$, $m = 8$, $m = 13$ с кривой средневзвешенной реализованной пропускной способности станции Карымская до и после проведения реконструкционных работ находятся в узком диапазоне от 58 до 63 поездов. Пропускная способность четной системы в рассматриваемый период равнялась соответственно этим величинам, что значительно ниже расчетных параметров, определяемых согласно нормативам [2]. Отметим еще раз, что увеличение количества приемоотправочных путей по станции Карымская не привело к ожидаемому увеличению пропускной способности.

На анализе этого важного обстоятельства остановимся подробнее. Статистический анализ причин задержки четных поездов на ст. Карымская и очень низких участковых скоростей четного потока на участке Чита — Карымская в работах [1, 7] позволил установить основную причину этого — недостаточное количество локомотивов, поступающих на станцию Карымская с восточного участка с нечетным потоком грузовых поездов. Недостаток локомотивов определил увеличенное время занятости путей в четном парке станции и соответственно пропускную способность

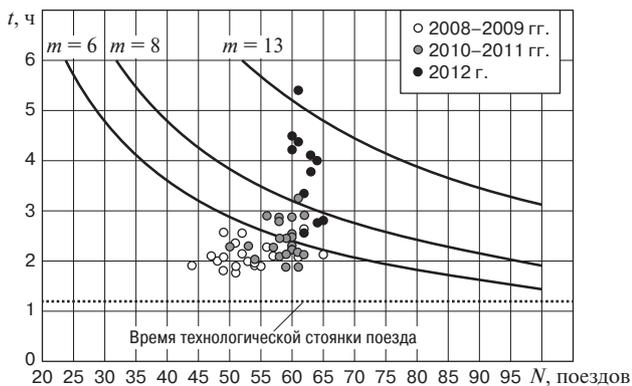


Рис. 7. Поле корреляции среднего простоя четных транзитных поездов на станции и размеров движения за каждый месяц в период с 2008 по 2012 г., наложенное на номограмму расчета пропускной способности станции Карымская, при поэтапном увеличении емкости станции (ввод в эксплуатацию приемоотправочного парка Д: I этап — конец 2009 г., II этап — конец 2011 г.)

Fig. 7. Correlation field of average idle time of transit up-trains at the station and traffic volumes for each month in the period from 2008 to 2012, imposed on the nomogram calculating capacity of Karymskaya station at staged increase in the station capacity (put into operation of receiving-departure Yard D:

I stage — the end of 2009, II stage — the end of 2011)

четной системы станции Карымская при числе приемоотправочных путей $m = 6$ на уровне 60 поездов в сутки при продолжительности занятости ПОП на уровне 2,5 ч. В [7] показано, что 65% времени занятости путей составляет время ожидания локомотива. Этим и определяется наличная пропускная способность станции Карымская. Сколько локомотивов подвели к станции с восточного участка, столько и отправили четных поездов на восток.

Классическая формула (2) в данном случае не позволяет объяснить сложившуюся ситуацию: число поездов в четном направлении через станцию практически фиксировано и при увеличении числа станционных путей время занятости путей должно было бы пропорционально уменьшаться, а в нашем случае оно пропорционально увеличивается.

Как следует из данных на рис. 8, для случаев, когда число приемоотправочных путей равно 6 и 13, пропускная способность четной системы станции Карымская ограничивается статистически значимой величиной на уровне 60 поездов/сут. Это меньше, чем число поездов, направленных на восток через станцию Карымская. В соответствии с этим заполняются емкости четной системы, и вдвое большее число принятых на станцию поездов в среднем вдвое дольше ждут прибытия предназначенных для их вывоза локомотивов.

Это подтверждается несложными выкладками. По формуле (2) при фиксированной пропускной способности станций $N_{гр}^{фикс}$ верно соотношение

$$N_{гр}^{фикс} = \frac{1440m}{t_{зан}}$$

из которого следует

$$t_{зан}^6 = \frac{1440 \cdot 6}{58} = 149 \text{ мин и } t_{зан}^{13} = \frac{1440 \cdot 13}{58} = 302 \text{ мин.}$$

Соответственно увеличивается число поездов, ожидающих приема на станцию Карымская, и, как отмечалось в [1, 2], существенно снижается участковая скорость на участке Чита — Карымская.

Динамическая математическая модель, связывающая основные показатели потока поездов, параметры графика движения при их следовании к станции, число станционных приемоотправочных путей и время занятости этих путей под технической обработкой поездов и ожиданием локомотивов, представленная в данной работе в виде соотношений (3) – (16), позволяет объяснять и количественно оценивать такие ситуации.

Без увеличения количества локомотивов, обращающихся на восточном участке Забайкальской железной дороги, без организации неснижаемого запаса локомотивов на станции Карымская для сглаживания неравномерности при их подсылке пропускная способность четной системы станции будет

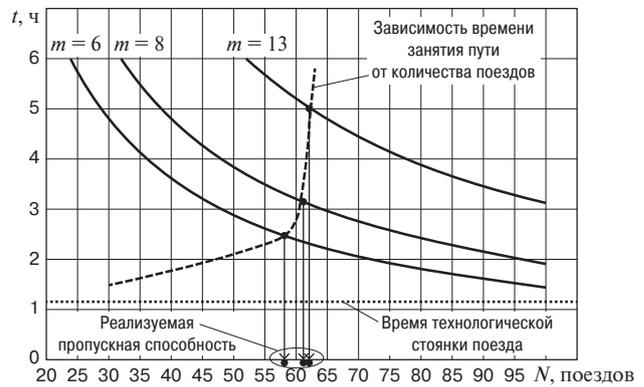


Рис. 8. Зависимость времени занятия пути от количества поездов по итогам работы в период с 2008 по 2012 г., наложенная на номограмму вычисления нормативной пропускной способности станции Карымская

Fig. 8. Dependence of holding time of track on number of trains following the results of operation during the period from 2008 to 2012, imposed on the nomogram calculating standard capacity of station Karymskaya

ограничиваться статистически значимой величиной на уровне 60 поездов в сутки.

В нашем случае, очевидно, $I_A < \frac{t_{зан}}{m}$. С учетом этого емкость станции заполняется увеличенным вдвое числом поездов и, соответственно, их время ожидания будет в два раза дольше — около 5 ч.

Как отмечалось ранее, математическая модель позволяет решать «обратную» задачу — оценивать интервал попутного следования I_A , при котором обеспечивается более высокая участковая скорость и, соответственно, уменьшаются эксплуатационные расходы без потери пропускной способности.

В рассматриваемом случае выполняется соотношение $t_{зан} > mI_A$ и для $m = 6$ и $t_{зан} = 150$ мин верно (9). Принимаем $t_{ож}^{ср} = t_{зан}$ и получаем $T_{ож} = t_{ож}^{ср} N_{гр}^{фикс} = 150 \cdot 60 = 9000$ мин.

Из выражения (8) для $T_{ож}$ находим I_A :

$$\begin{aligned} T_{ож} = 9000 &= \frac{N_{гр}^{фикс}}{2} (t_{зан} - mI_A) \left(\frac{N_{гр}^{фикс}}{m} - 1 \right) = \\ &= \frac{60}{2} (150 - 6I_A) \left(\frac{60}{6} - 1 \right); \\ I_A &= 20 \text{ мин.} \end{aligned}$$

В соответствии с (15) оценим $v_{уч}^{ср}$, например, для участка Чита — Карымская при $S = 100$ км и $v_{тех} = 60$ км/ч:

$$v_{уч}^{ср} = \frac{S}{\frac{S}{v_{тех}} + t_{ож}^{ср}} = \frac{100}{\frac{100}{60} + 2,5} = 24 \text{ км/ч.}$$

Можно оценить необходимую величину интервала попутного следования, если мы хотим иметь участковую скорость на уровне 40 км/ч. Из соотношения

(15) и принятых оценок параметров в этом выражении получаем

$$t_{\text{ож}}^{\text{ср}} = \frac{S}{v_{\text{уч}}^{\text{ср}}} - \frac{S}{v_{\text{тех}}} = 0,83 \text{ ч} = 50 \text{ мин};$$

$$T_{\text{ож}} = N_{\text{гр}}^{\text{фикс}} t_{\text{ож}}^{\text{ср}} = 3000 \text{ мин}.$$

И аналогично предыдущему примеру расчета (8) получаем, что значение участковой скорости на уровне 40 км/ч будет реализовано при интервале попутного следования, равном 23,23 мин.

Для ситуации $t_{\text{зан}} = mI_A$ время ожидания будет равно нулю, и участковая скорость достигнет максимума и будет равна технической скорости $v_{\text{тех}}$ при $I_A = \frac{150}{6} = 25 \text{ мин}.$

Из этого анализа следует необходимость рассматривать пропускную способность направления в комплексе, учитывая взаимозависимость технических и технологических процессов на станциях направления и участках пропуска поездопотоков между станциями. Это особенно важно при планировании мероприятий по усилению пропускной способности направлений, при отработке полигонных технологий.

Выводы. 1. Разработана динамическая математическая модель, в которой системой взаимозависимостей связано число приемоотправочных путей в парках технических станций, время занятости путей под обработку транзитных грузовых поездов, интервалы попутного следования поездов в поездопотоках четного и нечетного направлений.

2. Модель позволяет уменьшить поездочасы и увеличить участковую скорость при пропуске поездопотоков за счет оптимизации соотношений времени занятости приемоотправочных путей, числа таких путей, величин межпоездных интервалов.

3. С помощью динамической модели объяснены причины увеличения времени занятости путей в четном парке станции Карымская при увеличении числа приемоотправочных путей.

4. Увеличение пропускной способности четных парков станции Карымская может быть достигнуто путем последовательной реализации мероприятий по обеспечению ежедневного резерва локомотивов на станции Карымская, обслуживающих Восточный полигон, в размере 5 – 10 локомотивов и соответствующего приема четного потока с соседней дороги

в размерах, определяемых изменившейся после создания резерва локомотивов реальной наличной пропускной способностью станции Карымская.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Мугинштейн Л.А., Мехедов М.И. Методические подходы к выявлению факторов, влияющих на стабильность пропуска поездопотоков // Вестник ВНИИЖТ. 2014. №2. С. 24–33.
2. Инструкция по расчету наличной пропускной способности железных дорог: утв. ОАО «РЖД», 2010. 289 с.
3. Левин Д.Ю. Теория оперативного управления перевозочным процессом: монография. М.: ГОУ «Учебно-методический центр по образованию на железнодорожном транспорте», 2008. 625 с.
4. Макаровичкин А.М., Дьяков Ю.В. Использование и развитие пропускных способностей железных дорог. М.: Транспорт, 1981. 287с.
5. Шапкин И.Н., Кожанов Е.М. Научное обеспечение инновационного управления работой железнодорожных направлений в условиях применения твердого графика движения поездов // Транспорт: наука, техника, управление. 2011. №10. С. 4–11.
6. Имитационное моделирование в задачах организации движения поездов / Л.А. Мугинштейн [и др.]. М.: Интекст, 2012. 56 с.
7. Мехедов М.И., Мугинштейн Л.А. О проблемах организации движения и эффективности использования пропускных способностей станций // Железнодорожный транспорт. 2015. №7. С. 20–27.
8. Сотников Е.А., Бахадиров Ф.В., Мильман Р.С. Рационально использовать путевое развитие станций и участков // Железнодорожный транспорт. 1984. №7. С. 45–47.
9. Мехедов М.И. Повышение эффективности управления и использование локомотивного парка в условиях насыщения пропускных способностей: Проблемы проектирования и строительства железных дорог: сб. науч. трудов / под ред. В.С. Шварцфельда. Хабаровск: ДВГУПС, 2011. С. 137–149.
10. Батурин А.П. Комплексное решение задачи распределения грузопотоков и усиления пропускной способности линии полигона // Тр. МИИТ. 1976. Вып. 537. С. 16–35.
11. Бородин А.Ф. Эксплуатационная работа железнодорожных направлений // Труды ВНИИАС. Вып. 6. М.: ВНИИАС, 2008. 320 с.

ИНФОРМАЦИЯ ОБ АВТОРАХ

МУГИНШТЕЙН Лев Александрович,
д-р техн. наук, профессор, главный научный сотрудник,
АО «ВНИИЖТ»

МЕХЕДОВ Михаил Иванович,
начальник технологической службы Забайкальской железной
дороги — филиала ОАО «РЖД»

Статья поступила в редакцию 10.11.2015, принята к публикации 12.01.2016

Issues of organization of stable passage of transit freight trains on the railway lines in accordance with technical and technological features of operation of technical stations and running sections

L. A. MUGINSHTEIN¹, M. I. MEKHEDOV²

¹Joint Stock Company Railway Research Institute (JSC "VNIIZhT"), Moscow, 129626, Russian Federation

²Zabaikal'skaya Railway — branch of JSC "RZD", Chita, 672000, Russian Federation

Abstract. Determination of the actual capacity of rail lines, taking into account technical and technological features of operation of technical stations and running sections is one of the most important systemic problems facing the industry.

In order to solve the problem a dynamic mathematical model was developed where the number of receiving-departure tracks in technical station yards, time for holding tracks for handling transit cargo trains, intervals of following trains passing in train flows in up-and-down directions connected by the system of interdependencies. The model allows to reduce train-hours and to increase local speed at the passage of train flows due to optimization of ratios of holding time of receiving-departure tracks, number of such tracks and values of intertrain intervals.

By means of dynamic model the reasons of increase in holding time of tracks in up-train yards of the st. Karymskaya at increase in number of receiving-departure tracks are explained.

Direction of increasing capacity of up-train yards at st. Karymskaya is the consistent implementation of measures to ensure daily provision of locomotives, serving the Eastern operation area, at the st. Karymskaya in rate of 5–10 locomotives and relevant receive of up-train flows from the next road in the amounts determined by real available capacity at the st. Karymskaya, changed after creating a locomotive reserve.

Keywords: capacity; carrying capacity sections, directions, receiving-departure tracks; interval of following traffic

REFERENCES

1. Muginshtein L. A., Mekhedov M. I. *Metodicheskie podkhody k vyavleniyu faktorov, vliyayushchikh na stabil'nost' propuska poezdopotokov* [Methodological approaches to identification of factors affecting the stability of train flow passage]. Vestnik VNIIZhT. [Vestnik of the Railway Research Institute], 2014, no. 2, pp. 24–33.
2. *Instructions on the calculation of available capacity of railways*, approved by the Order of JSC "Russian Railways" on November 10, 2010. 128r., 289 p. (in Russ.).
3. Levin D. Yu. *Teoriya operativnogo upravleniya perevozhnyim protsessom* [The theory of operational management of transportation process]. Moscow, UMC ZHDT Publ., 2008. 625 p.
4. Makarochkin A. M., D'yakov Yu. V. *Ispol'zovanie i razvitie propusknykh sposobnostey zheleznykh dorog* [The use and development of capacity of the railway]. Moscow, Transport Publ., 1981. 287 p.
5. Shapkin I. N., Kozhanov E. M. *Nauchnoe obespechenie innovatsionnogo upravleniya rabotoy zheleznodorozhnykh napravleniy v usloviyakh primeneniya tverdogo grafika dvizheniya*

poezdov [Scientific support of innovative management of operation of railway lines in the conditions of application of fixed train schedule]. Transport: nauka, tekhnika, upravleniye, 2011, no. 10, pp. 4–11.

6. Muginshtein L. A., Anfinogenov A. YU., Kiryakin V. YU. Vinogradov, S. A., Lyashko O. V. *Imitatsionnoe modelirovanie v zadachakh organizatsii dvizheniya poezdov* [Simulation modeling in tasks of organization of train traffic]. Moscow, Intext Publ., 2012. 56 p.

7. Mekhedov M. I., Muginshtein L. A. *O problemakh organizatsii dvizheniya i effektivnosti ispol'zovaniya propusknykh sposobnostey stantsiy* [On the problems of organization of traffic and efficient use of station capacity]. Zheleznodorozhnyy transport, 2015, no. 7, pp. 20–27.

8. Sotnikov E. A., Bakhadirov F. V., Mil'man R. S. *Ratsional'no ispol'zovat' putevoe razvitie stantsiy i uchastkov* [Rational to use track arrangement of stations and sections]. Zheleznodorozhnyy transport, 1984, no. 7, pp. 45–47.

9. Mekhedov M. I. *Povyshenie effektivnosti upravleniya i ispol'zovanie lokomotivnogo parka v usloviyakh nasyshcheniya propusknykh spo-sobnostey: Problemy proektirovaniya i stroitel'stva zheleznykh dorog* [Improving the efficiency of management and the use of the locomotive fleet in saturated conditions of capacities: Problems of design and construction of railways]. Sb. nauch. trudov. [Coll. of sci. works, edited]. Khabarovsk, DVGUPS Publ., 2011, pp. 137–149.

10. Baturin A. P. *Kompleksnoe reshenie zadachi raspredeleniya gruzopotokov i usileniya propusknoy sposobnosti linii poligona* [Comprehensive solution to the problem of distribution of freight flows and increase of carrying capacity of test field line]. Moscow, MIIT Works, 1976, no. 537, pp. 16–35.

11. Borodin A. F. *Ekspluatatsionnaya rabota zheleznodorozhnykh napravleniy* [Operational work of the railway directions]. VNIIS Works, 6-e izd., Moscow, VNIIS Publ., 2008, 320 p.

ABOUT THE AUTHORS

MUGINSHTEIN Lev Aleksandrovich,

Dr. Sci. (Eng.), Professor, Chief Researcher Worker, JSC "VNIIZhT"

MEKHEDOV Mikhail Ivanovich,

Head of technological-engineering service of Zabaikal'skaya Railway — branch of JSC "Russian Railways"

Received 10.11.2015

Accepted 12.01.2016

E-mail: tdk-vniizht@mail.ru (L. A. Muginshtein)
MekhedovMI@mail.zabtrans.ru (M. I. Mekhedov)