

tems] *Elektrifikatsiya, innovatsionnye tekhnologii, skorostnoe i vysokoskorostnoe dvizhenie na zheleznodorozhnom transporte. Materialy pyatogo Mezhdunarodnogo simpoziuma Eltrans-2010 [Electrification, innovative technologies, high-speed and high-speed rail transport. Proceedings of the Fifth International Symposium Eltrans-2010]*, 20–23 oktyabrya 2009 g., PGUPS Publ., 2010. Pp. 143–151.

18. Han Z, Liu Z, Zhang G et al. Overview of non-contact image detection technology for pantograph–catenary monitoring. *J China Railw Soc.*, 2013. No. 35 (06). Pp. 40–47.

19. Zakrevskii A.D., Pottosin Yu.V., Cheremisinova L.D. Logicheskie osnovy proektirovaniya diskretnykh ustroystv [Logical bases of designing discrete devices]. Moscow: Fizmatlit Publ., 2007. 592 p.

Информация об авторах

Бурков Анатолий Трофимович – д-р техн. наук, профессор кафедры электроснабжения железных дорог, Петербургский государственный университет путей сообщения Императора Александра I, г. Санкт-Петербург, e-mail: atburkov@gmail.com

Мухамеджанов Мохирбек Фуркатович – аспирант кафедры электроснабжения железных дорог, Петербургский государственный университет путей сообщения Императора Александра I, г. Санкт-Петербург, e-mail: mokhirbek@mail.ru

Information about the authors

Anatolii T. Burkov – Doctor of Engineering Science, Professor, Professor of the Subdepartment of Power Supply of Railways, Emperor Alexander I St. Petersburg State Transport University, St. Petersburg, e-mail: atburkov@gmail.com

Mokhirbek F. Mukhamedzhanov – Ph.D. student of the Subdepartment of Power Supply of Railways, Emperor Alexander I St. Petersburg State Transport University, St. Petersburg, e-mail: mokhirbek@mail.ru

DOI 10.26731/1813-9108.2021.1(69).88-96

УДК 656.222

Северомуйский тоннель: развитие с учетом пропускной способности

А. В. Дмитренко, С. В. Карасёв, К. В. Королёв, А. Д. Калидова✉

Сибирский государственный университет путей сообщения, г. Новосибирск, Российская Федерация

✉ alexsandra_kd@bk.ru

Резюме

Северо-Муйский тоннель находится на протяженном перегоне, ограничивающем пропускную способность всей Байкало-Амурской магистрали в целом. В статье рассмотрены различные схемы пропуска поездов через однопутный элемент – тоннель. Выполнено моделирование пропуска встречных поездопотоков с целью определения возможных задержек поездов на подходе к лимитирующему однопутному элементу, в качестве которого может рассматриваться тоннель. Приведены зависимости среднего времени задержки (замедления пропуска) одного грузового поезда от продолжительности занятия однопутного элемента при различной интенсивности подхода к нему. Показаны зависимости среднего и суммарного времени задержки пропуска грузовых поездов от продолжительности занятия однопутного элемента при средней интенсивности подхода к нему шести поездов в час. В создавшихся обстоятельствах недостаточности капитальных средств для освоения возрастающих объемов перевозок, увеличения пропускной способности лимитирующего тоннельного перегона можно достичь за счет пропуска по нему пакетов поездов, организованных на вставках вторых главных путей, примыкающих к тоннелю в четном и нечетном направлениях. Предложено конструктивно-технологическое решение по увеличению пропускной способности однопутного тоннеля за счет развития смежных разъездов. На протяженных перегонах с тоннелем увеличение количества пропущенных по нему поездов обеспечивается за счет роста размеров движения, пропускаемых по ограничивающему перегону. В перспективе в случае значительного увеличения размеров движения на магистрали становится целесообразным строительство второго пути в тоннеле.

Ключевые слова

двухпутные вставки, задержка поездов, пропускная способность, разъезд, тоннель

Для цитирования

Дмитренко А. В. Северомуйский тоннель: развитие с учетом пропускной способности / А. В. Дмитренко, С. В. Карасёв, К. В. Королёв, А. Д. Калидова // *Современные технологии. Системный анализ. Моделирование.* – 2021. – № 1 (69). – С. 88–96. – DOI: 10.26731/1813-9108.2021.1(69).88-96

Информация о статье

поступила в редакцию: 10.01.2021, поступила после рецензирования: 12.01.2021, принята к публикации: 17.01.2021

The Severomuisk tunnel: capacity-based development

A. V. Dmitrenko, S. V. Karasev, K. V. Korolev, A. D. Kalidova✉

Siberian State University of Railways, Novosibirsk, the Russian Federation

✉ alexsandra_kd@bk.ru

Abstract

The Severomuisk Tunnel is located on an extended haul that limits the throughput capacity of the entire Baikal-Amur Highway as a whole. The article considers various schemes of handling trains through a single-track element – a tunnel. The handling of oncoming train flows was modeled in order to determine the possible delays of trains on the approach to a limiting single-track element, in the capacity of which the tunnel can be considered. Dependencies of average delay time (the delay of handling) of one freight train on duration of possession of a single-track element at different intensity of approach to single-track element are provided. Dependencies of average and total delay time of freight trains start-up on duration of occupation of single-track element with average intensity of approach to single-track element of 6 trains per hour are given. In the existing lack of capital funds, in order to absorb the increasing volume of traffic, the capacity of the limiting tunnel haul can be increased by handling through it bunches of trains organized on the inserts of the second main tracks adjacent to the tunnel in up and down directions.

A structural and technological solution for increasing the capacity of a single-track tunnel due to the development of adjacent junctions has been proposed. On extended hauls with a tunnel, the increase in the number of trains handled through it is ensured by an increase in traffic amounts handled along the limiting haul. In the future, in the event of a significant increase in the amount of traffic on the mainline, it became advisable to build a second track in the tunnel.

Keywords

double-track inserts, train delays, capacity, junction, tunnel

For citation

Dmitrenko A. V., Karasev S. V., Korolev K. V., Kalidova A. D. Severomuiskii tonnel': razvitiye s uchetom propusknoy sposobnosti [The Severomuisk tunnel: capacity-based development]. *Sovremennyye tekhnologii. Sistemyi analiz. Modelirovaniye* [Modern Technologies. System Analysis. Modeling], 2021, No. 1 (69), pp.88–96.–DOI: 10.26731/1813-9108.2021.1(69).88-96

Article Info

Received: 10.01.2021, Revised: 12.01.2021, Accepted: 17.01.2021

Введение

Сооружение Байкало-Амурской магистрали на Востоке страны явилось важным этапом в развитии транспортной сети железных дорог России. Ее строительство позволило создать новую дополнительную транспортную линию параллельно существующей загруженной Транссибирской магистрали. На этой дополнительной линии в период начального ее строительства еще в советские годы земляное полотно строилось под два главных пути.

На начальном этапе строительства данная линия от Усть-Кута до Тихого океана была полностью однопутной. Ввод в строй Байкало-Амурской магистрали и организация пропуска поездов на всем ее протяжении, несмотря на продолжительные их задержки в пути следования, позволил решать ряд народнохозяйственных проблем России в осуществлении перевозок грузов и пассажиров:

1. Обеспечить освоение возрастающих объемов перевозок в восточной части страны и снизить «пики расходов» от задержек грузовых поездов на особо загруженной двухпутной Транссибирской магистрали.

2. Создать возможность освоения в промышленном и хозяйственном отношении многих ранее малоосвоенных территорий России. Прежде всего, появилась большая доступность в транспортном освоении большого числа крупных предприятий, новых месторождений полезных ископаемых. Так, например, в Нерюнгри была организована в значительных объемах добыча угля.

3. Сократить пробег грузов по Байкало-Амурской магистрали через Северобайкальск на 180 км по сравнению с южным вариантом хода че-

рез Иркутск и Улан-Удэ по Транссибирской магистрали.

В то же время на Байкало-Амурской магистрали в процессе ее сооружения самым ограничивающим элементом оказался перегон, где находится Северомуйский тоннель. Его строительство осуществлялось в течение 23 лет. При этом данный тоннель оказался в неблагоприятной для строительства новой железнодорожной линии местности. В процессе его эксплуатации появилась в огромных размерах течь воды, строения пути оказались неустойчивыми.

Параллельно строительству тоннеля дополнительно по суше был проложен участок с большим руководящим подъемом через перевал. Это потребовало специальной системы организации на нем подталкивания. Весовая норма поездов оказалась ниже, чем на всей остальной протяженной магистрали. В процессе эксплуатации данного участка происходил значительный перепробег грузовых и пассажирских поездов по сравнению с кратчайшим направлением их следования через тоннель [1–4].

Увеличение эффективности Байкало-Амурской магистрали

В новых условиях в связи с ростом объемов перевозок в восточной части России, потребностями развития Восточного полигона встал вопрос об увеличении провозной способности Байкало-Амурской магистрали за счет следующих основных вариантов усиления данного технического объекта:

1. Строительство второго главного пути Северомуйского тоннеля с соответствующей его реконструкцией, в том числе с сооружением второго тоннеля.

2. Строительство дополнительного главного пути параллельно тоннелю по поверхности со значительным увеличением трассы Байкало-Амурской магистрали по сравнению со строительством второго параллельного тоннеля.

При оценке эффективности данных вариантов считается, что перегон с имеющимся однопутным тоннелем имеет ограниченную пропускную и провозную способности по сравнению с другими перегонами и не будет справляться с освоением возрастающих объемов перевозок по Байкало-Амурской магистрали. При таком подходе сложная и дорогостоящая реконструкция тоннеля представляется безальтернативной.

Существующая методика оценки пропускной способности однопутных железнодорожных линий в недостаточной степени учитывает возможность пропуска повышенных размеров движения поездов при наличии на однопутных участках в сложных условиях строительства автоблокировки на протяженных перегонах [5–8].

При этом ранее рассматривались только частные случаи вариантов организации пропуска поездопотоков, когда по всем перегонам однопутных железнодорожных линий для автоблокировки используется одинаковое количество поездов: один, полтора или два поезда в пакете для перегонов, имеющих различную протяженность. На практике оказалось, что реальное количество пропущенных грузовых поездов на однопутной линии ограничивается также наличием на разъездах разного количества приемо-отправочных путей.

В технико-экономических расчетах рассматривались преимущественно варианты, когда протяженность блок-участков на всех перегонах имеет одинаковое значение, а скорость движения грузовых поездов как по перегонам, так и по путям тоннеля, имеет повышенную величину с целью обеспечения высокой пропускной способности лимитирующего однопутного перегона на Байкало-Амурской магистрали.

Вследствие всех указанных причин в настоящее время наибольшие задержки грузовых поездов в пути следования на всей протяженной Байкало-Амурской магистрали происходят за счет ограничения в пропускной способности Северо-Муйского тоннеля. Поэтому для существующих конструкций однопутных магистральных линий в целом считается, что в случае роста объемов перевозок железнодорожным транспортом необходимо, в первую очередь, строить сплошной второй путь на перегоне, где имеются тоннели [9–12].

В существующих технико-экономических расчетах также считается, что данная техническая мера позволит не только обеспечить пропуск повышенных размеров движения, но и даст возможность значительно сократить суммарное время задержек грузовых поездов в пути следования [13, 14].

Эффективность автоблокировки зависит от размеров движения на однопутных железнодорожных линиях. В варианте отсутствия автоблокировки по каждому перегону возможно пропускать малое количество только одиночных грузовых поездов (рис. 1).

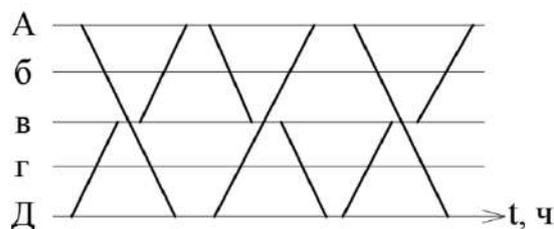


Рис. 1. Пропуск одиночных поездов по участку для малых размеров движения при отсутствии автоблокировки

Fig. 1. Handling single trains through the section for small traffic amounts in the absence of automatic blocking

При наличии автоблокировки следует также рассматривать варианты улучшения порядка использования протяженных искусственных сооружений (мостов, тоннелей) за счет совершенствования имеющихся, а также создания новых конструкций из нескольких перегонов, в которые входит дорогостоящий лимитирующий перегон большой протяженности.

Строительство сплошного второго главного пути на лимитирующем перегоне со сложными условиями, где находится протяженный тоннель, в связи с высокими затратами на его реконструкцию обычно значительно дороже по сравнению с вариантом строительства дополнительного главного пути на поверхности. Поэтому данный вариант целесообразно осуществлять только через несколько лет после общего увеличения объемов перевозок на магистральной железнодорожной линии большой протяженности.

Основные причины задержки поездов

В практических условиях эксплуатации железнодорожных линий возникает проблема длительной стоянки поездов на подходе к тоннелю. Замедление и разгон поездов перед тоннелем и после него также вызывает снижение пропускной способности однопутного перегона с тоннелем.

Можно выделить две группы основных причин, приводящих к увеличению времени следования поезда по участку.

1. Потери времени вследствие ограничения скорости из-за конструктивных параметров элементов линии и их технического состояния (инфраструктурные ограничения, в том числе конструктивные особенности и состояние тоннелей, мостов и других протяженных искусственных сооружений).

2. Потери времени из-за технологических особенностей пропуска поездов.

2.1. При снижении скорости вследствие влияния движения поездов попутного направления:

– ограничения, связанные с конструкцией или тяговыми возможностями подвижного состава (например, совмещенный пропуск скоростных и грузовых поездов, имеющих существенно различающуюся скорость и, соответственно, времена хода по перегону);

– ограничения, связанные с технологией пропуска поездов (например, необходимость снижения скорости по тяговым возможностям локомотива при пропуске тяжеловесных грузовых поездов).

2.2. Потери времени из-за задержки пропуска встречных поездопотоков при наличии на линии однопутных элементов, в том числе тоннелей [15, 16].

В случае использования на линии однопутных элементов необходимо учитывать возможное замедление пропуска поездопотока, вызванное не только конструктивными параметрами элемента трассы, но и технологией пропуска поездопотока, враждебностью с пропуском поездов встречного направления.

Моделирование задержек пропуска скоростных поездов

Для решения задачи оценки замедления пропуска поездов с учетом наличия на железнодорожной линии однопутных элементов (в том числе тоннелей) в современных условиях целесообразно использование метода моделирования [17–19]. В данном исследовании использовалась программа «Барьер-1», которая обеспечивает моделирование процесса пропуска встречных потоков поездов через однопутный элемент железнодорожной линии [19, 20].

Результаты моделирования пропуска встречных поездов через однопутный элемент [21] для каждой реализации модели представляются в виде графика, с отображением увеличения времени на подходах к однопутному элементу из-за его занятости пропуском встречного поезда (рис. 2).

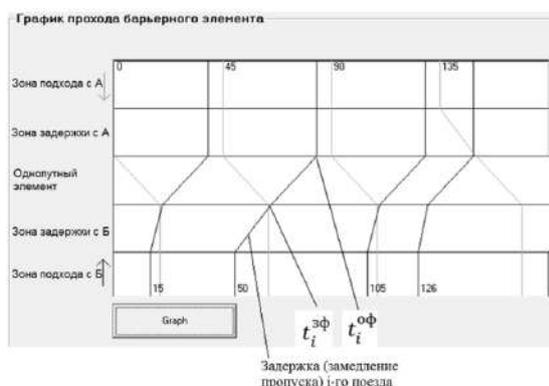


Рис. 2. График пропуска встречных поездопотоков через однопутный элемент (фрагмент)

Fig. 2. Schedule of handling oncoming train flows through a single-track element (fragment)

В этом случае в качестве основных варьируемых параметров, влияющих на задержки пропуска поездов, используются следующие:

- протяженность L_{03} однопутного элемента;
- средняя скорость V_{03} проследования элемента поездом;
- величина интервалов I между поездами;
- величина сдвижки (асинхронности) S моментов подхода поездов встречных направлений к однопутному элементу.

Модель «Барьер-1» позволяет определять количество задержек пропуска скоростных (высокоскоростных) поездов, соответствующие потери времени при наличии на линии однопутных элементов, а также расходы, связанные с увеличением нахождения поездов в пути. Эти показатели могут использоваться при технико-экономической оценке вариантов конфигурации линии для проверки допустимости использования однопутных элементов различной протяженности при разном уровне допускаемой скорости движения.

Результаты моделирования представлены на рис. 3.

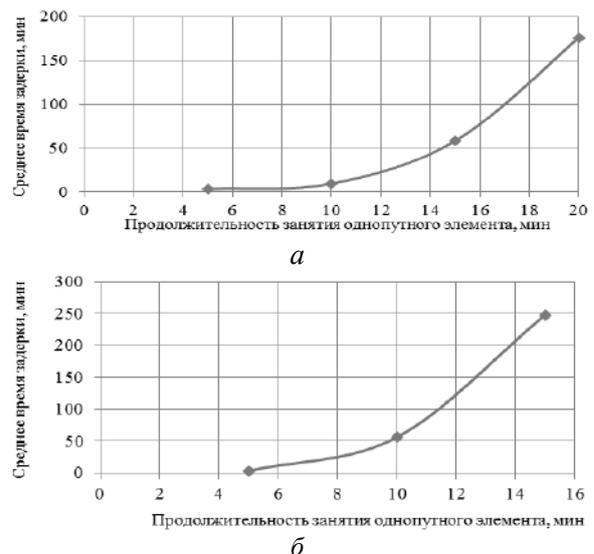


Рис. 3. Зависимость среднего времени задержки (замедления пропуска) одного грузового поезда от продолжительности занятия однопутного элемента при средней интенсивности подхода к однопутному элементу:

a – трех поездов в час; b – шести поездов в час

Fig. 3. Dependence of the average delay (handling slowdown) of one freight train on the duration of the possession of a single-track element with an average intensity of approach to a single-track element: a – three trains per hour; b – six trains per hour

Эксплуатационные расходы $\Xi_3^{Гр}$, связанные с суммарной задержкой пропуска грузовых поездов $T_3^{Гр}$ при использовании протяженных однопутных элементов можно определить по формуле:

$$\Xi_3^{\text{ГР}} = e_{\text{ГР}} \sum T_3^{\text{ГР}}, \quad (1)$$

где $e_{\text{ГР}}$ – расходная ставка на один поезд-час простаивающего в грузовом движении; $\sum T_3^{\text{ГР}}$ – суммарное время задержки грузовых поездов, ч.

Зависимости величины $\sum T_3^{\text{ГР}}$ от протяженности однопутного элемента получены методом моделирования по программе «Барьер-1». Результаты приведены (рис. 4).

В случае если время задержки грузового поезда перед однопутным элементом будет приводить к снижению темпа пропуска поездопотока, для сохранения необходимой пропускной способности потребуется устройство перед однопутным элементом накопителя очереди – раздельного пункта с путевым развитием.

Полученные результаты могут использоваться для определения величины задержки (замедления) потока грузовых поездов, пропускаемых по участку с однопутным элементом значительной протяженности, обоснования целесообразности устройства раздельных пунктов с путевым развитием на границах протяженного однопутного элемента (тоннеля). Также с помощью полученных зависимостей может выполняться оценка дополнительных расходов, связанных с замедлением пропуска поездопотока, технико-экономическая оценка мероприятий, связанных с повышением скорости движения грузовых поездов.

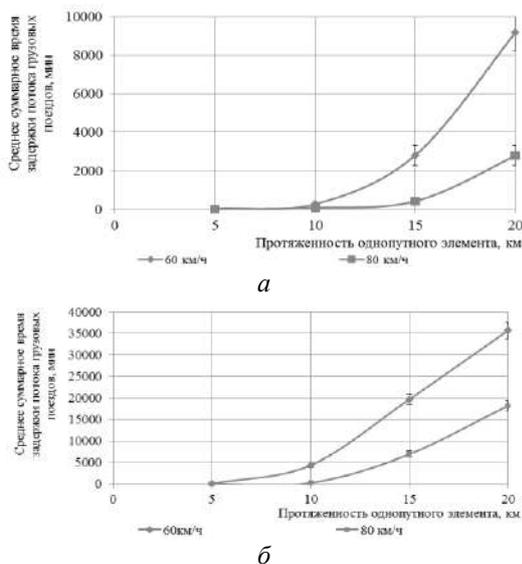


Рис. 4. Суммарная задержка пропуска грузовых поездов при средней интенсивности подхода к однопутному элементу:

a – трех поездов в час; *б* – шести поездов в час

Fig. 4. The total delay in the handling of freight trains with an average intensity of approach to a single-track element:

a – three trains per hour; *b* – six trains per hour

Строительство полностью двухпутного обхода тоннеля является весьма дорогостоящим решением.

Поэтому на современном этапе предлагается рассмотреть вариант увеличения пропускной способности ранее построенного тоннеля путем организации пакетного движения поездов и обеспечения более рациональных конструкций прилегающих к нему перегонов.

Наличие на магистрали автоблокировки позволяет обеспечивать на протяженных перегонах одновременно двух и более поездов. При повышенных размерах движения это создает возможность сокращать дополнительные задержки грузовых поездов в пути следования, вызванные недостатком в пропускной способности лимитирующих перегонов.

Одним из средств освоения повышенного объема перевозок на Байкало-Амурской магистрали является увеличение пропускной способности перегона с необходимостью усиления технического оснащения прилегающих к нему перегонов, расположенных в местности с более легкими условиями рельефа и профилем:

- укладка дополнительных приемоотправочных путей на прилегающих к тоннелю разъездах;
- укладка вторых главных путей на прилегающих к тоннелю перегонах.

При наличии на каждом разъезде кроме главного только одного приемоотправочного пути в случае оборудования участка автоблокировкой возможно пакеты поездов организовать только в одном из направлений, куда следует повышенное количество поездов (рис. 5).

В данном случае ожидание нитки графика в пропускной способности совмещается со временем образования пакета на разъезде, расположенном на подходе к лимитирующему перегону. Это обеспечивает в малой степени сокращение суммарного простаивания поездов в пути следования.

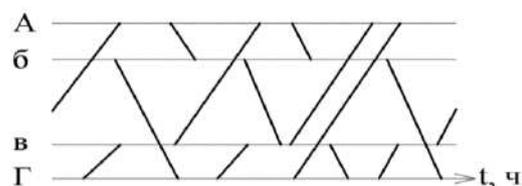


Рис. 5. Схема пропуска поездов по лимитирующему перегону при наличии на подходах разъездов с одним приемо-отправочным путем

Fig. 5. Scheme of the handling of trains on the limiting haul if there are crossing loops at the approaches with one receiving-departure track

Повысить пропускную способность лимитирующего перегона при наличии автоблокировки возможно за счет строительства дополнительных приемо-отправочных путей на прилегающих разъездах (рис. 6).

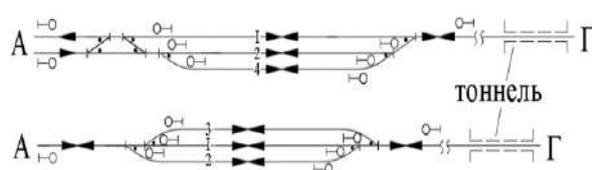


Рис. 6. Схемы раздельных пунктов перед тоннелем
Fig. 6. Schemes of separate stations in front of the tunnel

С учетом остановки поездов полезная длина путей должна соответствовать максимальной длине поезда для перспективных условий.

Данная мера позволит осуществить повышение пропускной способности лимитирующего перегона за счет организации пропуска пакетов поездов в обоих направлениях (рис. 7).

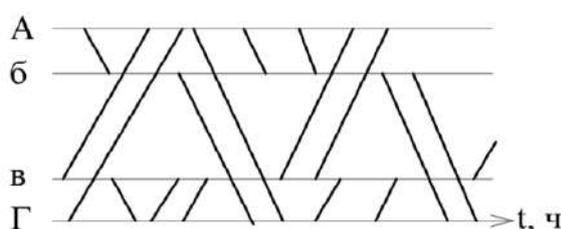


Рис. 7. Схема пропуска пакета поездов по лимитирующему перегону при наличии двух дополнительных путей на прилегающих к перегонам разъездах
Fig. 7. Scheme of handling a bunch of trains along the limiting haul in the presence of two additional tracks on the crossing loops adjacent to the hauls

Для образования пакетов поездов, следующих по тоннелю, возможно осуществлять укладку дополнительных главных путей на прилегающих к тоннелю разъездах. За счет организации движения поездов пакетами в этом варианте возможно усиление пропускной способности перегона с тоннелем.

Однако за счет большого количества дополнительных остановок перед такими разъездами данный вариант не будет обеспечивать высокой степени использования главного пути тоннеля большой протяженности и низких эксплуатационных расходов, связанных с движением поездов. В создавшейся обстановке более целесообразным является вариант строительства сплошного второго пути на прилегающих к тоннелю перегонах с легким профилем.

Новые научные исследования показали, что в связи с особенностями в эксплуатационной работе полигонов, усилением пропускной способности одного элемента возможно будет улучшать как пропускную способность, так и эксплуатационные показатели смежных станций и перегонов [21–25]. При рациональных конструкциях за счет усиления технического оснащения одного перегона можно повышать пропускную способность и снижать эксплуатационные расходы, связанные с движением грузо-

вых поездов по всей магистральной железнодорожной линии (рис. 8).

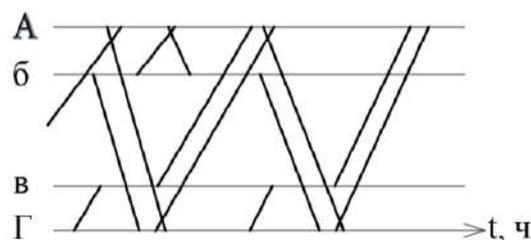


Рис. 8. Схема пропуска пакета поездов при наличии двухпутных вставок на прилегающих к тоннелю перегонах А-б и в-Г

Fig. 8. Scheme of the handling of a bunch of trains in the presence of double-track inserts on the hauls A-b and c-D adjacent to the tunnel

Укладка дополнительного количества путей в разъездах для существующих конструкций участков приведет к увеличению времени простоя составов грузовых поездов под скрещением на подходах к тоннелю. Данный перегон является ограничивающим в пропускной способности в целом по всей магистральной железнодорожной линии (например, Северомуйского тоннеля на БАМе). Пропуск повышенных размеров движения в этом случае вызовет значительные затраты от увеличения времени нахождения поездов в пути следования за счет возрастающих задержек.

При наличии автоблокировки можно также рассматривать варианты улучшения порядка использования протяженных искусственных сооружений (мостов, тоннелей) посредством совершенствования, а также создания новых конструкций из нескольких перегонов, в которые входит дорогостоящий лимитирующий перегон большой протяженности.

Приведенная система организации пропуска поездов и управления движением на однопутных железнодорожных линиях может быть успешно применена на протяженном перегоне, где расположен ограничивающий Северо-Муйский тоннель, имеющий худшие технико-экономические показатели в эксплуатационной работе всей Байкало-Амурской магистрали.

Ранее выполненные исследования показали, что при ограниченных капитальных вложениях наибольший эффект достигается в вариантах, когда осуществляется усиление пропускной способности ограничивающих перегонов за счет строительства сплошных вторых путей на смежных перегонах с более легким профилем. В этом случае при меньших удельных капитальных вложениях целесообразно укладку вторых путей осуществлять на двух перегонах, смежных с лимитирующим.

Тогда при увеличении емкости в путевом развитии в целом для всего участка создается возмож-

ность повышения пропускной способности лимитирующих перегонов путем увеличения количества поездов в пакетах, а также за счет организации тягеловесного движения [26–28].

По тоннелю большой протяженности может быть пропущено большое количество поездов путем организации пакетного движения при наличии двух и более поездов в пакете по сравнению с короткими перегонами, но малым количеством дополнительных путей на примыкающих раздельных пунктах.

Построение графиков движения показало, что существующая структура магистральных однопутных железнодорожных линий, когда на каждом разъезде обычно кроме главного имеется только два дополнительных пути, не позволяет в дальнейшем по всей магистральной однопутной железнодорожной линии обеспечивать пропуск большого количества поездов в пакете в обоих направлениях.

Таким образом, для существующей системы эффективными становятся компоновочные решения с укладкой дополнительных путей, примыкающих к дорогостоящему протяженному тоннелю или устройством разъездов с двумя приемоотправочными путями. Экономическая эффективность данного мероприятия повышается, если обеспечиваются легкие условия укладки дополнительных путей. В этом случае становятся более рациональными структуры, когда на прилегающих к тоннелю легких по условиям строительства перегонах будут укладываться сплошные вторые главные пути (рис. 9).

В данном случае будет достигаться существенный прирост пропускной способности лимитирующего

перегона. Эта мера позволит сократить суммарные задержки грузовых поездов, вызванные недостатком в пропускной способности лимитирующего перегона на всей Байкало-Амурской магистрали.



Рис. 9. Схема тоннеля с прилегающими двухпутными перегонами

Fig. 9. Diagram of the tunnel with adjacent double-track hauls

Выводы

При решении задачи повышения пропускной способности протяженного лимитирующего перегона, особенно при наличии дорогостоящих искусственных сооружений (мостов и тоннелей), эффективным решением является использование автоблокировки.

Для улучшения качества использования тоннелей (с точки зрения пропуска поездопотока), повышения их пропускной способности следует на прилегающих к ним перегонах строить вторые главные пути с легким профилем с целью организации пропуска поездов пакетным способом.

Устройство дополнительных главных путей на прилегающих к тоннелю перегонах при благоприятных для строительства местных условиях позволяет увеличивать пропускную способность всей магистральной железнодорожной линии за счет повышения качества пропуска поездопотока через соответствующий лимитирующий перегон.

Список литературы

1. Аксененко Н.Е., Дмитренко А.В., Милованов И.А., Поздеев В.Н. Перспективы развития транспорта при переходе к рынку. Железнодорожный транспорт. 1993. № 2. С. 37–42.
2. Быков Ю.А. Основные системотехнические принципы проектирования железных дорог // Совершенствование теории и практики проектирования, реконструкции и эксплуатации железных дорог : межвуз. сб. науч. тр. Хабаровск, 1994. С. 17–23.
3. Экономические изыскания и основы проектирования железных дорог : учебник для вузов ж.д. транспорта / под ред. Б.А. Волкова. М. : Маршрут, 2005. 408 с.
4. Нехорошков В.П. Железнодорожный транспорт в развитии внешнеэкономической деятельности восточных регионов России. Новосибирск : Наука, 2011. С. 228.
5. Управление эксплуатационной работой и качеством перевозок на железнодорожном транспорте / П.С. Грунтов и др. М. : Транспорт, 1994. 544 с.
6. Левин Д.Ю., Павлов В.Л. Расчет и использование пропускной способности железных дорог. М. : 2011. 364 с.
7. Умаров Х.К. Увеличение пропускных способностей лимитирующего перегона линии Ангрэн – Пап // Изв. Петербург. ун-та путей сообщ. 2015. Вып. 2(43). С. 84–90.
8. История железнодорожного транспорта России / Г.М. Фадеев, Ф.К. Амелин, Ф.К. Бернгард и др. // СПб. ; М. : Петербург. гос. ун-т путей сообщ., 1994. 335 с.
9. Инструкция по расчету наличной пропускной способности железных дорог. М. : Техинформ, 2011. 291 с.
10. Козлова С.Б. К вопросу усиления пропускных способностей полигонов транспортной сети // Вестник ЦНИИ МПС. 1969. № 6. С. 25–28.
11. Бородин А.Ф. Новая система организации грузового движения на железных дорогах Польши // Железнодорожный транспорт. Сер.: Организация движения и пассажирские перевозки. Вып. 4. М. : ЦНИИТЭИ. 1997.
12. Бубнова Г.В., Федоров Ю.Н. Об эффектах специализации железнодорожных линий // Мир транспорта. 2012. Т. 10. № 6 (44). С. 62–69.

13. Goverde R.M. A delay propagation algorithm for large-scale railway traffic networks // *Transportation Research. Part C: Emerg. Technol.* 2010. № 18 (3). P. 269–287.
14. Method of analysis for delay propagation in a single-track network / Anette Østbø Sørensen, Andreas Dypvik Landmark, Nils O.E. Olsson et al. // *Journal of Rail Transport Planning & Management.* 2017. № 7. P. 77–97.
15. Higgins A. Optimal scheduling of trains on a single line track / A. Higgins, E. Kozan, L. Ferreira et al. // *Transportation Research. Part B.* 1996. № 30 (2). P. 147–161.
16. Timetabling optimization of a mixed double- and singletracked railway network / E. Castillo, I. Gallego, J. Urena & J. Coronado // *Applied Mathematical Modelling.* 2011. № 35. P. 859–878.
17. Assad A. Models for rail transportation // *Transportation Research. Part A.* 1980. № 14 (3). P. 205–220.
18. Carey M., D. Lockwood A model, algorithms and strategy for train pathing // *Journal of the Operational Research Society.* 1995. Vol. 46. № 8. P. 988–1005.
19. Программный продукт имитационного моделирования пропуска поездов через однопутное барьерное место инфраструктуры «ИМ Барьер-1»: свидетельство о регистр. электрон. ресурса ОФЭРНЮ №22781 от 23.05.2017. / С. В. Карасев, А. Д. Калидова. Новосибирск, 2017.
20. Калидова А.Д. Алгоритм пропуска скоростных поездов через барьерные места инфраструктуры // *Политранспортные системы: сб. ст. междунар. науч.-техн. конф. Новосибирск, 2017. С. 22–29.*
21. Estimation of conditions of using combined single-track and double-track railways at high-speed traffic [Электронный ресурс] / S. Karasev, A. Kalidova, A. Dmitrenko et al. // *Polytransport Systems: X International Scientific and Technical Conference. MATEC Web of Conferences.* 2018. Vol. 216. URL: <https://doi.org/10.1051/mateconf/201821602010> (дата обращения 27.02.2021).
22. Дмитренко А.В., Карасев С.В., Пурэв Батхуяг. Эффективность оборудования автоблокировкой перегонов в зависимости от их протяженности // *Науч. пробл. трансп. Сибири и Дальн. Востока.* 2014. № 1-2. С. 146–149.
23. Дмитренко А.В., Карасев С.В. США и Россия: оптимальный вес грузовых поездов и развитие инфраструктуры // *Вестник транспорта.* 2015. № 12. С. 12–15.
24. Дмитренко А.В. Эффективность сооружения дополнительных главных путей на существующих железнодорожных линиях // *Современные технологии. Системный анализ. Моделирование.* 2014. № 4 (44). С. 154–161.
25. UIC – International union of railways. The worldwide railway organization : site. URL: <http://uic.org> (дата обращения 20.02.2021).
26. Юрина О.П. Принципы управления вагонным парком в современных условиях // *Научные проблемы транспорта Сибири и Дальнего Востока.* 2015. № 4. С. 14–17.
27. Юрина О.П., Танайно Ю.А. Особенности формирования тяжеловесных поездов на Западно-Сибирской железной дороге // *Транспорт Урала.* 2016. № 4 (40). С. 81–84.
28. Юрина О.П., Танайно Ю.А. Особенности организации работы с поездами повышенного веса на Западно-Сибирской железной дороге // *Вестн. Сиб. гос. ун-та путей сообщ.* 2017. № 4(43). С. 60–65.

References

1. Aksenenko N.E., Dmitrenko A.V., Milovanov I.A., Pozdeev V.N. Perspektivy razvitiya transporta pri perekhode k rynku [Prospects for the development of transport during the transition to the market]. *Zheleznodorozhnyi transport [Railway transport]*, 1993. No. 2. Pp. 37–42.
2. Bykov Yu.A. Osnovnye sistemotekhnicheskie printsipy proektirovaniya zheleznykh dorog [Basic system engineering principles of railway design]. *Sovershenstvovanie teorii i praktiki proektirovaniya, rekonstruktsii i ekspluatatsii zheleznykh dorog. Mezhd. sb. nauch. trudov. [Improvement of the theory and practice of railway design, reconstruction and operation of higher education institution: an interuniversity coll. of academic articles]*. Khabarovsk, 1994. Pp. 17–23.
3. Volkov B.A., Turbin I.V., Svintsov E.S., Lobanova N.S. Ekonomicheskie izyskaniya i osnovy proektirovaniya zheleznykh dorog: Uchebnik dlya vuzov zh.d. transporta [Economic research and the basis of railway design: a textbook for railway transport universities]. In Volkov B.A. (ed.) Moscow: Marshrut Publ., 2005. 408 p.
4. Nekhoroshkov V.P. Zheleznodorozhnyi transport v razvitií vneshneekonomicheskoi deyatelnosti vostochnykh regionov Rossii [Railway transport in the development of foreign economic activity in the eastern regions of Russia]. Novosibirsk. Nauka Publ., 2011. Pp. 228.
5. Gruntov P.S. et al. Upravlenie ekspluatatsionnoi rabotoi i kachestvom perevozok na zheleznodorozhnom transporte [Management of railway transport operations and quality]. Moscow: Transport Publ., 1994. 544 p.
6. Levin D.Yu., Pavlov V.L. Raschet i ispol'zovanie propusknoi sposobnosti zheleznykh dorog [Calculation and use of railway capacity]. Moscow, 2011. 364 p.
7. Umarov Kh.K., Svintsov E.S. Uvelichenie propusknykh sposobnostei limitiruyushchego pereгона linii Angren – Pap [Increase in the throughput capacity of the limiting haul Angren – Pap]. *Izvestiya Peterburgskogo universiteta putei soobshcheniya [Izvestia of the St. Petersburg University of Railways]*, 2015. Vol. 2 (43). Pp. 84–90.
8. Fadeev G.M., Amelin F.K., Bernhard F.K. et al Istoriya zheleznodorozhnogo transporta Rossii [History of Railway Transport of Russia]. St. Petersburg–Moscow, 1994. 335 p.
9. Instruktsiya po raschetu nalichnoi propusknoi sposobnosti zheleznykh dorog [Instructions for calculating the available capacity of railways]. Moscow, 2011. Technical inform. 291 p.
10. Kozlova S.B. K voprosu usileniya propusknykh sposobnostei poligonov transportnoi seti [On the issue of strengthening the pro-launch abilities of the polygons of the trans-tailor network]. *Vestnik TsNII MPS [Bulletin of the Central Research Institute of the Ministry of Railways]*, 1969. No. 6. Pp. 25–28.

11. Borodin A.F. Novaya sistema organizatsii gruzovogo dvizheniya na zheleznykh dorogakh Pol'shi [A new system for organizing freight traffic on the railways of Poland]. *Zheleznodorozhnyi transport. Seriya: Organizatsiya dvizheniya i passazhirskie perevozki [Railway transport. Series: Organization of traffic and passenger transportation]*, Iss. 4 Moscow: TsNIITEI Publ., 1997.
12. Bubnova G.V., Fedorov Yu.N. Ob effektakh spetsializatsii zheleznodorozhnykh liniy [On the effects of specializing railway lines]. *Mir transporta [The world of transport]*, 2012. Vol. 10, No. 6 (44). Pp. 62–69.
13. Goverde R.M. A delay propagation algorithm for large-scale railway traffic networks. *Transportation Research. Part C: Emerg. Technol.*, 2010. No. 18 (3). Pp. 269–287.
14. Sørensen A., Landmark A., Olsson N., Seim A. Method of analysis for delay propagation in a single-track network. *Journal of Rail Transport Planning & Management*, 2017. No. 7. Pp. 77–97.
15. Higgins A., Kozan E., Ferreira L. Optimal scheduling of trains on a single line track. *Transportation Research. Part B*, 1996. No. 30 (2). Pp. 147–161.
16. Castillo E., Gallego I., Urena J., Coronado J. Timetabling optimization of a mixed double- and single-tracked railway network. *Applied Mathematical Modelling*, 2011. No. 35. Pp. 859–878.
17. Assad A. Models for rail transportation. *Transportation Research. Part A*, 1980. No 14 (3). Pp. 205–220.
18. Carey M., Lockwood D. A model, algorithms and strategy for train pathing. *Journal of the Operational Research Society*, 1995. Vol. 46. No. 8. Pp. 988–1005.
19. Karasev S.V., Kalidova A.D. Programma imitatsionnogo modelirovaniya propuska poezdov cherez odnopusnoye bar'ernoe mesto infrastruktury «Bar'er-1» [The program of simulation modeling of the passage of trains through the single-track infrastructure barrier “Barrier-1”]. Novosibirsk, 2017. State registration number OFERNiO 22781 dated May 23, 2017.
20. Kalidova A.D. Algorithm propuska skorostnykh poezdov cherez bar'ernye mesta infrastruktury [An algorithm for passing high-speed trains through infrastructure barrier places] *Politransportnye sistemy: sb. nauchn. st. mezhdunarodnoi nauch.-tekh. konf. [Polytransport systems: a coll. of academic art. International scientific and technical conf.]* Novosibirsk: SGUPS Publ., 2017. Pp. 22–29.
21. Karasev S., Kalidova A., Dmitrenko A., Sivitskii D. Estimation of conditions of using combined single-track and double-track railways at high-speed traffic [Electronic media]. *X International Scientific and Technical Conference “Polytransport Systems”*. MATEC Web of Conferences, 2018. Vol. 216. URL: <https://doi.org/10.1051/mateconf/201821602010>. Accessed: ???
22. Dmitrenko A.V., Karasev S.V., Purev Bathuyag. Effektivnost' oborudovaniya avtoblokirovki peregonov v zavisimosti ot ikh protyazhennosti [Efficiency of equipment by self-locking of hauls depending on their length]. *Nauchn. probl. transp. Sibiri i Dal'n. Vostoka [Scientific probl. of transport of Siberia and Far East]*, 2014. No. 1-2. Pp. 146–149.
23. Dmitrenko A.V., Karasev S.V. SShA i Rossiya: optimal'nyi ves gruzovykh poezdov i razvitie infrastruktury [USA and Russia: optimal weight of freight trains and infrastructure development]. *Vestnik transporta [Bulletin of transport]*, No. 12. 2015. Pp. 12–15.
24. Dmitrenko A.V. Effektivnost' sooruzheniya dopolnitel'nykh glavnykh putei na sushchestvuyushchikh zheleznodorozhnykh liniyakh [Efficiency of construction of additional main tracks on existing railway lines]. *Sovremennye tekhnologii. Sistemy analiz. Modelirovanie [Modern technologies. System analysis. Modeling]*, 2014. No. 4 (44). Pp. 154–161.
25. UIC – International union of railways. The worldwide railway organization [Electronic media]. URL: <http://uic.org/>. Accessed:
26. Yugrina O.P. Printsipy upravleniya vagonnym parkom v sovremennykh usloviyakh [Principles of railcar fleet management in modern conditions]. *Nauchnye problemy transporta Sibiri i Dal'nego Vostoka [Scientific problems of transport of Siberia and the Far East]*, 2015. No. 4. Pp. 14–17.
27. Yugrina O.P., Tanaino Yu.A. Osobennosti formirovaniya tyazhelovesnykh poezdov na Zapadno-Sibirskoi zheleznoi doroge [The peculiarities of the formation of heavy-weight trains on the West Siberian Railway]. *Transport Urala [Transport of the Urals]*, 2016. No. 4 (40). Pp. 81–84.
28. Yugrina O.P., Tanaino Yu.A. Osobennosti organizatsii raboty s poezdami povyshennogo vesa na Zapadno-Sibirskoi zheleznoi doroge [The peculiarities of the organizations of operation of heavy-weight trains on the West Siberian Railway]. *Vestnik Sibirskogo gosudarstvennogo universiteta putei soobshcheniya [Bulletin of the Siberian State University of Railways]*, 2017. No. 4 (43). Pp. 60–65.

Информация об авторах

Дмитренко Алексей Васильевич – д-р техн. наук, профессор, профессор кафедры железнодорожных станций и узлов, Сибирский государственный университет путей сообщения, г. Новосибирск, e-mail: dmitrenkoav@mail.ru

Карасёв Сергей Владимирович – канд. техн. наук, доцент, доцент кафедры железнодорожных станций и узлов, Сибирский государственный университет путей сообщения, г. Новосибирск, e-mail: gdsugdsu@yandex.ru

Королёв Константин Валерьевич – д-р техн. наук, профессор, профессор кафедры геотехники, тоннелей и метрополитенов, Сибирский государственный университет путей сообщения, e-mail: korolev_kv@mail.ru

Калидова Александра Дмитриевна – канд. техн. наук, старший преподаватель кафедры железнодорожных станций и узлов, Сибирский государственный университет путей сообщения, г. Новосибирск, e-mail: alexandra_kd@bk.ru

Information about the authors

Aleksei V. Dmitrenko – Doctor of Engineering Science, Professor, Professor of the Subdepartment of Railway Stations and Hubs, the Siberian State University of Railways, Novosibirsk, e-mail: dmitrenkoav@mail.ru

Sergei V. Karasev – Ph.D. in Engineering Science, Associate Professor, Associate Professor of the Subdepartment of Railway Stations and Hubs, the Siberian State University of Railways, Novosibirsk, e-mail: gdsugdsu@yandex.ru

Konstantin V. Korolev – Doctor of Engineering Science, Professor, Professor, Department of Geotechnics, Tunnels and Subways, Siberian State University of Railways, e-mail: korolev_kv@mail.ru

Aleksandra D. Kalidova – Ph.D. in Engineering Science, the Subdepartment of Railway Stations and Hubs, the Siberian State University of Railways, Novosibirsk, e-mail: alexandra_kd@bk.ru